

지진해일발생과 지진특성값들사이의 관계분석

강 래 성

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《해안은 공장과 도시의 버림물, 해일에 의한 피해를 막고 해안자원을 개발리용하며 나라를 보위하는데 보다 유리하게 꾸려야 합니다.》(《김정일선집》증보판 제11권 40페이지)

해안을 잘 꾸리기 위해서는 지진해일을 비롯한 여러가지 재해현상의 원인과 발생특성을 과학적으로 밝혀내는것이 무엇보다 중요하다.

지진해일은 바다물밑지진에 의하여 일어나는 바다물의 룡기, 침강작용에 의하여 발생하는것만큼 지구내부의 지각운동결과인 지진과 밀접한 련관을 가지게 된다.[1]

론문에서는 지진관측과 통보에서 리용되는 기준들에 기초하여 파괴운동과 지각변형에 따르는 지진해일의 발생특성에 대하여 서술하였다.

1. 지진과 그 평가기준

지진은 땅겉면이 급격하게 진동하는 현상으로서 진원과 그것의 지구겉면에 대한 사영인 진앙(진중)으로 발생위치를 판단한다. 또한 진원에서 지구겉면의 어떤 관측지점까지의 거리를 진원거리, 진앙으로부터 지구겉면의 어떤 관측지점까지의 거리를 진앙거리로 한다.

지진을 원인에 따라 구조지진, 화산지진, 함락지진으로 나누며 지진예보는 지진의 발생시간, 발생위치, 크기 및 세기를 정확히 결정하고 통보하는 사업이다.

지진요소에 따르는 지진해일예보는 크게 네가지 측면에서 진행되고있다.

첫째로, 지진평가척도로서 절대적인 파괴정도를 나타내는 세기척도(바르)와 기준지진에 대한 상대적인 비교를 나타내는 크기척도(리히터척도)를 서로 결합하여 리용하고있는 것이다.

지진세기척도(바르)는 1~12바르로 나누는데 일반적으로 7바르이상이 재해성지진이다.

지진크기척도(리히터척도)는 어떤 기준지진을 정하고 같은 관측조건에서 기준지진최대진폭에 대한 해당 지진최대진폭의 비에 대한 로그값으로서 M 으로 표시한다.

$$M = \lg \left(\frac{A(\Delta)}{A_0(\Delta)} \right) = \lg A(\Delta) - \lg A_0(\Delta) \quad (1)$$

여기서 $\lg A(\Delta)$ 는 진앙거리 Δ 에서 측정한 지진의 최대진폭, $\lg A_0(\Delta)$ 는 진앙거리 Δ 에서 측정한 기준지진의 최대진폭이다.

기준지진은 표준관측조건에서 관측하였을 때 기록지우에서의 최대진폭이 $1\mu m$ 인 지진으로서 $\lg 1=0$ 이므로 $M=0$ 으로 된다.[2, 3]

둘째로, 국제쓰나미정보센터에서 보내는 태평양고리형지진대주변의 지진자료들에 M

을 보다 구체화한 여러가지 지진특성값들도 반영된다는것이다.

우선 국부적인 지역에서 진앙거리 $\Delta \leq 600\text{km}$ 인 얕은 지진은 M_L 로 표시하며 그 계산식은 다음과 같다.

$$M_L = \lg a + 3 \lg \Delta - 2.97 \quad (2)$$

여기서 a 는 지표면진동의 최대진폭이다.

다음으로 지진결면파로 관측한 M_S 척도는 주기 20s전후에 $\Delta \leq 600\text{km}$ 인 경우에 적용하는데 다음과 같다.

$$M_S = \lg a + \alpha \lg \Delta + \beta \quad (3)$$

다음으로 깊은 지진인 경우($\Delta > 600\text{km}$)에는 M_B 가 쓰인다.

$$M_B = \lg(a/T) + Q(h, \Delta) \quad (4)$$

여기서 α, β 는 상수, T 는 지진파의 주기, h 는 물깊이이다.

셋째로, 지진특성값들사이의 호상관계를 추정하여 관측이 불가능하거나 어려운 지진요소들을 결정하고있다.

실례로 진원깊이가 60km이하인 경우 결면파에 의한 지진에너지를 리용하여 지진크기를 결정하였다.

$$M = \frac{10}{18} \lg \frac{E}{E_0} = \lg \frac{a}{T} - \lg \frac{a_0}{T_0} \quad (5)$$

여기서 E 는 지진에너지, E_0 은 지진의 초기발생에너지, a_0 은 지표면진동의 초기진폭, T_0 은 지진파의 초기주기이다.

또한 지진의 전체 에너지와 지진크기사이의 관계는 다음과 같다.

$$\lg E_{\text{전}} = 11.8 + 1.5M \quad (6)$$

지진세기와 지진크기사이에는 $I = -2.2 + 1.7M$, 지진발생빈도와 지진크기사이에는 $\lg N = a' + b'(8 - M)$ 관계식이 성립한다. (a', b' 는 상수)

또한 뒤지진구역면적 A 는 M 과 $\lg A = (1.02 \pm 0.08)M - (4.01 \pm 0.57)$, 뒤지진구역 전체 체적 V 는 $\lg V = (1.00 \pm 0.10)M - (2.78 \pm 0.74)$ 의 관계를 가진다. 진원깊이에 따르는 지진해일 발생률은 표 1과 같다.

넷째로, 지진발생과 함께 지진파의 전파 특히 해일파의 규모와 전파에 대하여 밝히고있는 것이다.

지진발생시 일반적으로 두 종류의 탄성파 즉 체적파와 결면파가 생긴다.

지진기록지에는 속도와 주기순서로 체적파인 p파, s파, 결면파인 R(레일리파), Q(라브파)순서로 기록되지만 지진학에서는 일반적으로 세로파를 p파, 가로파를 s파로 표시한다.

바다지진의 세기척도에는 루드루프척도(1~10바르)와 지베르그척도(1~6바르)가 있다.

지진해일파의 전파속도는 파향선법을 비롯한 현대적인 수치계산법들을 리용하여 정량적으로 계산할수 있지만 간단화된 식은 다음과 같다.

표 1. 진원깊이에 따르는 지진해일발생률

진원깊이/km	발생회수	발생률/%
1~10	18	13
11~20	6	4
21~30	43	3
31~40	28	20
41~50	18	13
51~60	19	14
>60	8	6

$$v = \sqrt{gH \left(1 + \frac{\eta}{H} \right)} \quad (7)$$

여기서 η 는 지진해일의 চে오름높이, H 는 바다물깊이이다.

2. 지진발생의 단층파라미터분석

지진의 발생정보가 입수되고 그 세기가 판단되면 다음의 인자들을 단층파라미터결정에 보충할수 있다. 그 인자들로는 지진의 크기(지진모멘트 M_0 혹은 지진등급 M_W), 진원깊이, 단층파열과정 등이다.

자연지진은 땅밑암반이 돌발적으로 끊기면서 발생하는데 지진의 크기와 단층면의 면적, 단층면 아래우 매질의 탄성계수 등은 지진모멘트 M_0 혹은 지진등급 M_W 로 표시할 수 있다.

지진모멘트 M_0 은 다음과 같다.

$$M_0 = \mu AD \quad (8)$$

여기서 A 는 단층면의 면적, D 는 상대교차(이동거리), μ 는 매질의 탄성계수이다.

마찬가지로 지진등급 M_W 는 다음과 같다.

$$M_W = \frac{2}{3} \lg M_0 - 6.06 \quad (9)$$

$M_W < 7.25$ 일 때 지진등급 M_W 와 지진급수 M_S 는 기본적으로 일치된다.

지진을 특징짓는 단층파라미터들은 단층면의 주향각(단층면과 지표면사이의 사립선과 진북사이각) ϕ , 비탈각(단층면과 지표면사이각) δ 및 미끄럼각(단층의 윗판의 아래판에 대하여 상대적인 미끄럼방향) e 와 단층면주향사이각 λ 등이다.(그림 1)

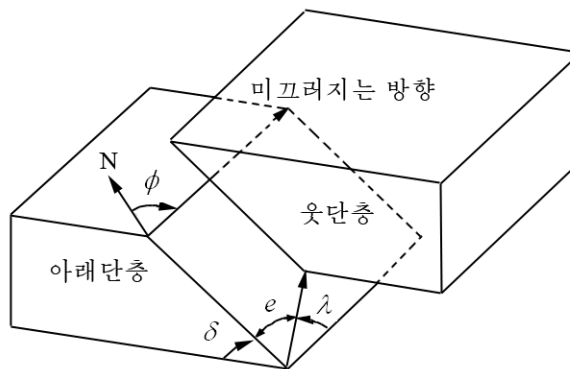


그림 1. 지진발생시 단층의 미끄럼상태

일반적으로 말하여 완전미끄럼단층($\lambda=0^\circ$ 또는 $\lambda=180^\circ$ 인 단층)은 해일발생이 불가능한 지진이며 완전무너짐단층($\lambda=90^\circ$ 또는 $\lambda=270^\circ$ 인 단층)은 완전미끄럼단층에 비하여 해일발생가능성이 높다.

리론적계산결과분석에 의하면 기타 조건들이 같은 조건에서 무너짐단층이 일으킨 지표면상승과 하강은 대략 미끄럼단층의 4배정도이며 그에 의해 일어난 해일의 파고 역시 대략 4배정도라는것을 보여준다.

그림 2는 단층 매개 변수의 개념도로서 θ 는 진북과 이루는 단층의 주향, δ 는 지층경사(침하)각, λ 는 미끄럼(불일치, 서로 엇나간 지층)각, W 는 단층의 경사폭, L 은 단층의 길이, H 는 단층면의 옷미끄럼판두께, D 는 단층의 변위를 나타낸다.

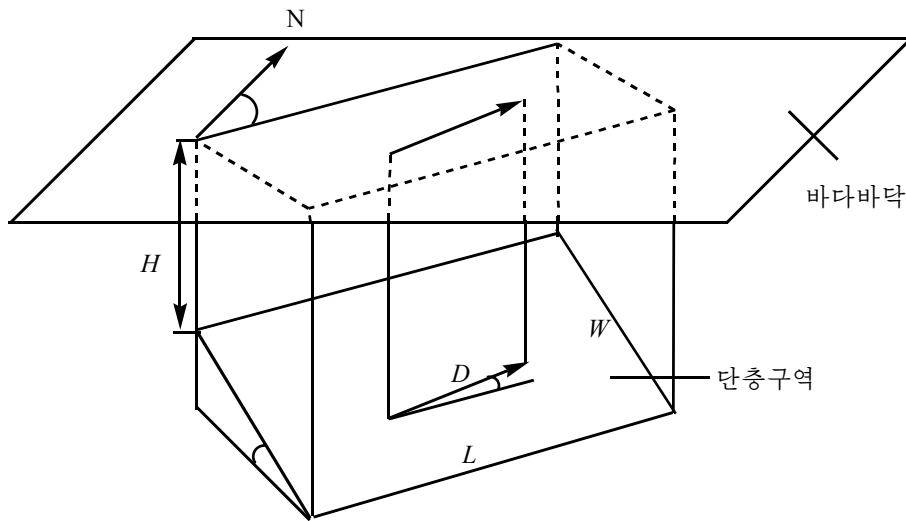


그림 2. 지진단층파라미터

실례로 2011년 3월 11일 동일본지진해일의 단층파라미터들은 표 2와 같다.

표 2. 2011년 3월 11일 동일본지진해일의 단층파라미터

파라미터	단위	수값
위도	°	38.985
경도	°	143.857
H	km	10
θ	°	193
δ	°	14
λ	°	90
L	km	380
W	km	100
D	m	23

맺는 말

연구결과 지난 시기의 지진관측과 예보통보지표들보다 정량화되고 세분화된 지진특성값들에 의한 지진 및 지진해일예보방법의 기초를 마련하였다.

참고문헌

- [1] Liu Huaishan et al.; J.Ocean Univ.China, 12, 3, 319, 2013.
- [2] Seelam et al.; Coastal Engineering, 58, 9, 937, 2011.
- [3] 朱学明; 海洋与湖沼, 43, 3, 663, 2012.

Relation Analysis between Generating of Tsunami and Characteristic Value of Earthquake

Kang Thae Song

In this paper, we established the method of calculating characteristic values in seismic observation and research, and diagrammatically analyzed the crustal alteration and course of oblique fault in seismic generation.

Key words: earthquake, tsunami, parameters of fault