

쓰나미 完全研究

〈津波〉

特徴·速度·警報조직·歷史上 큰 事例

崔 榮 博〈高麗大教授·工博〉

▷ 쓰나미의 특징

영어로 쓰나미를 'Tidal Wave'라 한다. 'Tide'란 용어는 조석(潮汐)이므로 글자대로의 의미는 조석파(潮汐波)가 된다. 그래서 현재 혼동을 피하기 위해 세계공통학술어로서 'Tsunami'로 부르고 있다. 우리나라에서는 옛부터 한자「津」은 나루터 혹은 항구를 의미한다. 또한「浦」는 포구 또는 해안, 해변을 의미한다. 우리나라 해안의 항구나 포구로서 임해진(臨海津), 강진(康津), 구룡포(九龍浦), 삼천포(三千浦), 목포(木浦), 제물포(濟物浦), 진남포(鎭南浦) 등과 같이 항구(Port)의 지명아래 많이 사용된다.

쓰나미는 해양중에서는 파고가 낮고 1m에 미달되는 것이 보통이다. 그런데 연안으로 근

접해서 수심이 얇게되면 파봉(波峯)과 파봉사이의 간격이 좁게되면서 파봉의 높이가 갑자기 커지게 되어서 육지로 진행해 간다. 한편, V자형 지형의 해만(海灣)이면 만의 깊숙한 안쪽으로 들어가면 파랑이 모이게 되어 파고가 더욱 증대한다.

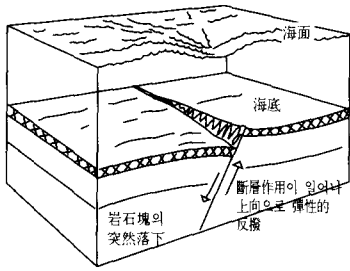
일본이나 우리나라 동해 연안에는 육지에서 수100km 떨어진 먼바다의 해저의 지진발생에 의해 일어난 쓰나미가 때때로 해안가로 내습해서 많은 인명의 손실과 해일에 의한 물적피해를 주는 일이 많다. 조진파(潮津波)를 'Tidal bore'라 하는데 옛날에는 조석파 쓰나미를 구별하지 않은 것으로 본다.

지진의 발생에 의해 수반되는 '지진파(地震波)'는 해수로 전파되어도 쓰나미라고 하지 않는다. 그래서 해저지진이 연

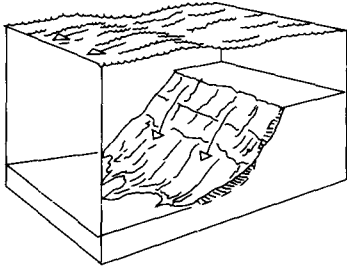
제나 쓰나미의 원인이 되는 것은 아니다. 쓰나미는 지진이 해저의 지각을 움직이거나 함몰시킬 때만 일어난다. 이래서 지진진파(Seismic Sea Wave)라 한다.

요컨대 해저지반면의 상하작용에 따라서 그 위에 있는 해수가 위로 들어 올려지거나 아래로 끌어 내려지면 다음에는 해면이 원위치로 되돌아가고자 하는 운동이 생겨 이것이 큰 파랑으로 되어 사방팔방으로 전파해가는 것이 쓰나미인 것이다. 따라서 해저가 변화하는 것이 중요하며 그 원인이 반드시 지진만일 필요는 없다.

해저에 있는 화산의 폭발분출도 망사태(沙汰)로 대량의 토사가 해저로 깊숙히 들어가서 같은 효과를 나타낸다. 하지만 실제에 있어서 지진에 의한 쓰나미가 거의 대부분을 차지한다.



〈그림 1〉 쓰나미의 성인, 지각의 암석에 단층작용의 발생으로 해저의 일부가 급격히 낙하함. 뒷수면도 떨어져서 진파 발생



〈그림 2〉 진파의 성인, 가파른 해저사면의 상단에 퇴적된 느슨한 퇴적물(침전물)의 땅사태가 부근의 지진으로 운동시작

▷ 쓰나미의 속도

쓰나미가 발생하면 그 피해의 크기가 크게 보도되기 마련이다. 인적·물적손상이나 피해를 최소화하기 위해 쓰나미의 속도나 그방향이 관계되는 지역에 조기경계예보(警戒豫報)를 함으로써 미연 방지가 가능할 것이다.

쓰나미의 파장은 수10~수100km로 되나 평균수심 약4,000m의 대양에서는 천해파(淺海波)로 간주된다.

그래서 그 전파속도는 수심을 h m로 하면 \sqrt{gh} 로 표시된

다. (g =중력가속도=980cm/sec²). 수심이 4,000m이면 초당200m(시속720km)로 진행하는 셈이다.

이는 항공기의 속력에 필적하는 것이다.

하지만 해안연안으로 근접함에 따라 수심 h 가 작게되므로 그 속력은 훨씬 느리게 된다. 만약 쓰나미의 진원위치 즉, 파원(波源)을 알게 되면 그 수심에 응해서 어떤위치로 어느 정도의 속도로 진행해 가는가를 계산가능하므로 육안(陸岸)에 몇분뒤에 도착하는가를 예측가능하다. 또한 쓰나미의 주기는 생성된 상황에 따라 다르나 대체로 수10분에서 1시간 정도의 것을 많이 볼 수 있다.

실제의 경우 쓰나미의 발생은 복잡하다. 육안으로 다가오는 파랑을 기파(寄波), 육안에서 물러가는 파랑을 인파(引波)라하는데 쓰나미의 경우 처음시작이 인파인 경우도 있고 기파인 경우도 있고 또한 첫번째파가 반드시 최대 파고를 갖는다고는 할 수 없다.

해안 가까운 곳의 쓰나미는 파봉(波峯)부분의 속도가 빠르고 파곡(波谷)부분에 뒤쫓아가는 것같이 진행하며 앞면으로 경사하는 형으로 되고 극단적 경우에는 마치「물의벽」과 같이 보일때도 있다. 이와같은 의미에서 조석단파(Tidal bore)와 비슷하며 사실 강(江)을 거슬러 올라가는 경우도 있다. (중국의 전당강의 예)

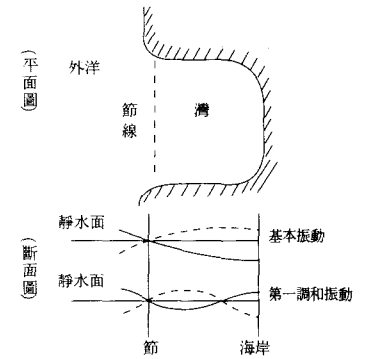
쓰나미의 충격으로 항만내부

가 수일간 해면이 진동하는 정진(Seiche, 靜振)을 야기한 예도 많다.

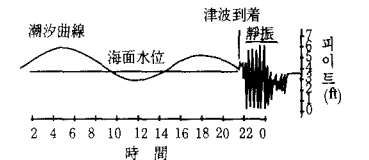
▷ 역사상의 큰 쓰나미

기록에 남아있는 최초의 쓰나미는 BC1400년경 '쿠레다' 섬의 '아무니사스'를 내습한 쓰나미이다. 이것은 약 1천년후에 고대 그리스인 '포세이니아스'의 기록에 의하면「헤리스」시는 코린트만의 수저로 사라져 없어지고 시민은 한사람도 남김없이 익사하였다 한다.

그후 1천년사이에 기록된 쓰나미의 수는 10개정도이다. 오늘날 세계의 어느곳에서나 국지적인 대참해를 야기하는 쓰나미는 해마다 발생하고 있다. 물론



〈그림 3〉 한쪽이 열린 만의 정진(독립된 1조의 정진이 반대방향으로 만내를 왕복 반사함)



〈그림 4〉 1960년 5월 22일의 쓰나미로 사모아섬 「파고파고」에서 정진의 발생

해저지진의 활동도 예나 지금이나 다름이 없다. 겉보기로 큰 쓰나미가 증가하게 된 주된 원인은 세계 인구의 급격한 증가의 결과로 이전에는 사람들이 거주하지 않은 불모(不毛)의 해안에 오늘날 많은 인간과 거대한 자산(資産)이 거주(居住)하고 확대된 까닭이다.

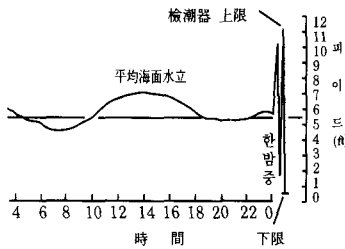
이와같은 동향은 앞으로 계속하는 것은 틀림이 없으므로 거대한 쓰나미에 의한 인류의 위협은 더욱 증가할 것으로 전망된다. 태고(太古)부터 1940년까지의 270개의 쓰나미 일람표를 미국의 연안측량국(U.S. Coast and Geodetic Survey)이 정리하고 있다. 이것을 읽어보면 광란(狂亂)하는 군중의 머리위에 갑자기 무너지는 거대한 물의 벽이나 항구에서 대소의 수많은 선박을 완전히 치워버린 것 같은 광경이나, 첫번째의 파랑 내습으로 떠나가지않고 살아남아있는 사람들이 흠뻑젖은 그대로 공포에 가워눌려 있고 두번째의 파랑에 따라붙지 않게 끄고지를 향해 도망치는 모습등을 쉽게 상상할 수 있다.

일람표를 보면 쓰나미는 환태평양지진대(環太平洋地震帶)와의 관계로 대다수가 태평양 부근에서 일어났다. 특히 동아시아의 일본등 태평양해안은 쓰나미에 휩쓸려 해를 당하는 빈도가 높다. 그외에 '하와이' 군도, 중남미 서해안, '아라스카' 근해 및 동남아시아등도 쓰나미 내습이 많은 지역이다.

역사적인 쓰나미로서는 1833

년의 인도네시아의 '쿠라가타아' 화산폭발에 의한 것으로 최대 파고 35m, 사망자 3만6,000여명이며 그 여파는 북유럽까지 파급되었다. 또한 역사상 최고의 쓰나미로서는 1958년 아라스카의 '리쓰야' 해만으로서 육지상의 땅사태가 바다속으로 무너져내려간 반동으로 해수를 520m의 높이까지 밀려올라 가계한 기록이 남아있다.

일본에도 같은 원인으로 일어난 쓰나미가 있다. 1792년 구주(九州)시마하라(島原)의 마유산(眉山)이 무너져 아리아기(有明)해에 대량의 토사가 유입하였다. 그결과로 '아리아



〈그림 5〉 하와이섬의 '히로'에 있는 검조기에 기록된 쓰나미 (검조기조차 한계 4피이트 1960. 5. 23의 자정에 도달)



기' 해에는 파고 10m를 넘는 쓰나미가 발생해서 약 1만 5,000명의 사망자를 초래한 기록이 있다.

대서양에서는 1755년의 '리스본' 대지진에 의한 쓰나미가 유명하다. 이때의 파랑은 대서양을 횡단해서 서인도제도까지 6m의 파고로 내습했다는 기록이 있다. 아시아에서 가장 쓰나미의 피해가 큰 곳은 일본으로 1896년의 산리구(山陸)대쓰나미로서 2만2,000명의 인명이 손상되었다. 이때 만안 깊은 곳에서는 25m의 파고가 발생하였다 한다. 쓰나미에 의한 피해의 크기는 진파가 어느 규모 정도의 도시를 내습하는가, 그 도시가 어떤 재해방비(裁害防備) 체제를 마련하고 있는가에도 연관되지만 반드시 쓰나미 그 자체의 크기와 일치하는 것은 아니다.

▷ 쓰나미의 경보조직

1960년 5월3일 남미 태평양의 칠레외해(外海)에서 큰 쓰나미가 발생하였다. 이 쓰나미는 22시간만 뒤에 일본 태평양 연안을 내습해서 심대한 피해를 주었다. 피해를 크게한 최대의 사유는 사전에 쓰나미경보가 보내지지 않은 까닭에서라고 하였다.

미국연안측량국은 지진쓰나미경보조직을 발전시켜왔다. 이조직은 '비올빈'부터 '알라스카'까지 또한 '페루'부터 일본까지의 태평양주변에 있는

10개의 지진관측소를 두어 여기에는 자동경보장치와 기록계가 설치되어 있다. 큰 지진이 발생하면서 진동을 수신하면 경보가 울려져서 다른 관측소에 경계경보를 발한다. 동시에 각 관측소에서는 '호노루루'의 중앙관측소로 기록된 자료가 보내진다.

여기서 각관측소에서 얻어진 지진초기의 도달시각을 '호노루루'에서 해석하고 만약 진앙(震央)이 해저아래 위치하고 있는 것을 알면 생기(生起)할 수 있는 쓰나미의 도착추정시각을 포함한 무선통신을 진앙에 가장 가까운 몇개의 조석관측소에 보낸다. 각 관측소는 쓰나미가 실제로 도착여부를 반복보고할 것을 요청한다.

만약 이상(異常)파동이 보고되면 쓰나미의 영향이 미친다고 추정되는 해안지대의 지방당국에게 경보가 발령되도록 한다.

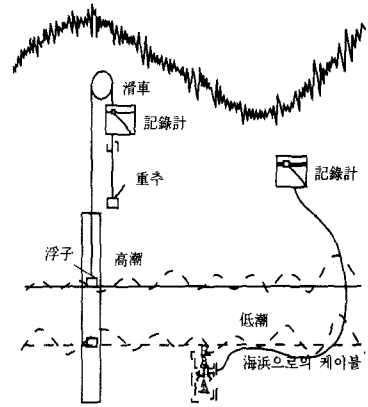
1960년 5월22일 맹렬한 지진(마구니슈드 8.5)이 '칠레'외해에서 일어났다. 화산이 폭발하고 넓은 범위로 단층작용과 함몰이 발생하고 수 100개소에서 땅사태가 일어났다. 500마일에 이르는 국지적재해지역에서는 4,000명이 사망하고 50만호의 가옥이 전파하고 피해총액은 4억달러에 달하였다. 그리고 다시 해저의 거대한 단층에 따라서 해안선에 나란하게 큰 함몰이 일어났다. 태평양전역에 파급된 큰 쓰나미를 만든 것은 이 큰 함몰이

었다. 칠레만에서도 해안에 면한 여러지역이 파괴됐다.

'뉴우질랜드' '오스트레일리아', '비올빈' 및 '오끼나와(沖繩)' 등에 있는 해안도시는 수피이트(feet) 높이의 홍수침수를 당하였다.

'LA', '산티아고'의 각항구는 잔교(棧橋)나 선박등이 파손되어 100만달러의 피해를 보았다. 일본도 파랑발생원에서 9,000마일이나 떨어져 있는데도 쓰나미의 높이가 15피이트나 되었고 사망자 180명, 피해액 5,000만달러이었다. 그런데하와이섬의 '히로'는 이때 두번째의 강렬한 쓰나미의 타격을 받았다 한다. 그 피해액은 1946년 때보다도 더욱 지독하였다. 다만 이때 시민은 경보를 듣고 바로 피난한 까닭에 사망자수는 소수이었다 한다. '히로'의 검조기(檢潮機)는 보통조차(타고)4피이트의 조석을 기록하는데 세번째의 파랑에 의해 파괴되었다. 1960년의 칠레 큰 쓰나미 이후 환태평양제국사이에 쓰나미경보국제망조직센터(Net work Center)가 설치되어 태평양지진대에 포위된 위치에 있는 하와이에는「쓰나미경보센터」가 설치되었다.

먼바다에서 생긴 쓰나미는 이 넷트-워크를 통해 쓰나미를 예고하는 것이 가능하게 되었는데 일본의 경우 근해에 파원(波源)이 있을 경우 예보가 시간적으로 급히 쓸수없게 되는 경우가 보통이라고 한다. 지진의 발생을 전달하는 지진파는



〈그림 6〉 檢潮器

쓰나미보다 매우 빠르므로 쓰나미의 전조(前兆)가 될 수 있으나 최초의 지진파가 온 이후 쓰나미의 첫번째파랑이 오기까지의 시간은 수분 이내인 경우가 대부분이다. 단 근해에서 쓰나미에 수반되는 지진은 인간이 직접 감지할 수 있는 것이 가능한 경우도 있다. 만약 해변에서 지면이 흔들리는 것을 감지하면 바로 해안선에서 멀리 떠나면 된다. 쓰나미의 침수범위의 권역외로 피난하는 것이 아이들의 경우는 어려운 일이 아니다.

쓰나미에 말려들어가지 않도록 하자면 갑자기 물의 벽이 올 때 당황하지 말고 바로 높은 장소로 대피하는 것이 중요하다. 쓰나미경보는 지진파에 의해 진원을 추정하고 진원이 바다인 것을 확인한 후 경보가 보내지게 되므로 이 경보가 전파(電波)를 통해 흘러갈 때는 벌써 쓰나미가 밀려왔다고 생각하는 것이 무난하다고도 한다. ㉠