

津浪に關する二三の問題

地震研究所

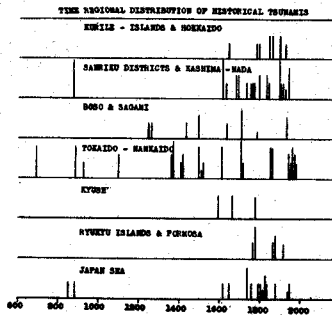
高橋 龍太郎

津浪というのは不時に海面が昇降を始めて、数分乃至数十分の周期の振動を、数時間以上繰返す現象であつて、その原因は主として地震に因る海底の地形変動、稀に海底地、或は海底噴火などである。然し現象に類似点があるため台風などによる高潮を暴風津浪と言つたり、潮浪によつて起る海啸を津浪の代りに誤用したこともある。津浪の本性は周期の長い、従つて波長も長い波であります、最近では原因にかゝらず此のような長い波を tsunami と言うようになりつゝあります。津浪は外国では seismic tidal wave とか Raz de maré 等と言つてをりましたが今では一般に tsunami という語を用いてゐる。それ程、わが国は津浪の災害を蒙つてきてゐるのである。

日本地震資料その他によると我国では著しい津浪 80 余が起つてゐる。その内で特に著しいものを才 1 表に示した。才 1 図にはそれら津浪の浪源の地理的分布を、才 2 図には地域



才 1 図 浪源の分布



日本古来の津浪表

日本古	浪源	地名	階級
天武 12 X 14	684 XI 29	土佐、伊豫、奥州、西津波	III
養老 11 V 26	869 VII 13	陸奥	IV
仁和 3 VII 30	887 VII 26	京事、近江、美濃、七尾	III
永享 1 XI 24	1096 XII 17	畿内、奥州、海防、海防	III
正平 16 VI 24	1361 VII 3	畿内、奥州、海防、海防	III
明和 7 VII 25	1499 IX 20	奥州、海防、海防	III
享和 9 XII 16	1805 I 31	奥州、海防、海防	III
慶長 16 X 28	1611 XII 2	三陸、海防	IV
光緒 15 XI 23	1703 XII 31	江戸、奥州、海防、海防	III
安永 4 X 4	1707 X 28	奥州、海防、海防、海防	IV
寛政 1 VII 18	1741 VII 28	奥州、海防、海防	III
享和 1 XI 4	1804 XII 23	奥州、海防、海防	III
文政 1 XI 5	1804 XII 24	奥州、海防、海防、海防	III
明治 29 VI 15	1896	三陸、海防	IV
昭和 8 III 3	1933	三陸、海防、海防	III
昭和 19 XII 7	1944	奥州、海防、海防、海防	III
昭和 21 XII 21	1946	奥州、海防、海防、海防	III
昭和 27 III 4	1952	奥州、海防、海防、海防	III

才 1 表 日本古来の大津浪

別時間的分布を示した。浪源の分布は津浪の規模(0~4)を示す。分布が我国の所謂外側地震帯、内側地震帯と一致するのは寧ろ当然のことであらう。世界における津浪々源の分布についても同様のことが言はれる。これらの表や図で津浪はその規模の大小に従つて 4 から 0 の 5 階級に分けて示してある。その分類は次のようになっている。

規模 m	解説
4	最大波高 30m 以上、沿岸 500km 以上に亘り被害あり
3	最大波高 10~20m、沿岸 400km に亘り被害あり
2	最大波高 5~10m、人畜、船舶、家屋流亡する
1	最大波高 2~5m、家屋浸水、破壊する船流れる
0	最大波高 1~2m、被害なし、遠い津浪も含む

記録が最も詳しいと思はれる最近 350 年間の我国での津浪発生回数を見ると、規模の順に言つて 3, 8, 15, 27, 4 となっている。規模 0 のものは記録に残らぬもの

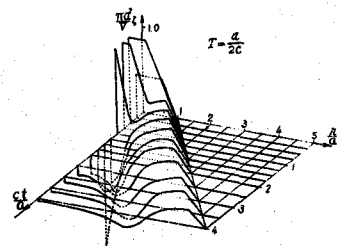
も多いことを思い合はせると、年発生回数は凡そ $\log_{10} = -0.8 - 0.3m$ で表わされる。即ち規模 m が 1 増すと回数は半減することになる。

津浪々源から出るエネルギーは浪源距離 R の所で $e = \pi p g R V \Sigma A^2 T$ で計算出来る。但し V は波の伝はる速度 $\sqrt{gh}$, A は振幅, T は半周期で Σ は著しい峯, 谷について加算する。昭和8年の三陸津浪で計算した例では $e = 16 \times 10^{22} \text{ erg}$ で、この津浪の規模 $m = 3$ であるから $\log_{10} e = 0.6m + 21.4$ となる。飯田によると津浪の m と地震規模 M との間には

$m = 2.5M - 17.0$ の関係が成立つ、地震エネルギーを E とすると Gutenberg によれば $\log_{10} E = 1.5M + 12$ であるので、これらの関係から $\frac{e}{E}$ を算出すると $\log \frac{e}{E} = -0.8$ 即ち $\frac{e}{E} \approx \frac{1}{6}$ を得る。この値は従来地震エネルギーの $\frac{1}{100}$ 位が津浪エネルギーになると考えられていた事と大して矛盾しない。近年 IGY 観測のために非常に発達した津浪計によると、今まじに津浪を伴った最小の地震規模は $M = 5.0$ である。

さて深さ h の海底で円形部分(半径 a)が一様な速度で、短い時間 T の間隆起したとしよう。この時円形直上の水面には最初截頭円錐形の山が出来、次にラッパ状の深い凹みが出来、次に又峯が出来して、中心水面は振動を繰返すが、その間に周囲には環状の峯, 谷, 峯, 谷が送り出され、広がってゆく。環状波の先端は円形変動区域の周辺から発し、 $\sqrt{gh}$ の速度で進む。

才3図はこの先端部附近の色々な時間における断面図である。この部分は殆んど分散性がなく波形はそのまゝ伝はってゆく。才1波の半波長は T があまり緩くなければ $2a$ の程度である。海底変動が隆起なら初動は上げ波、沈降なら下げ波になる。従つて津浪の初動の到着時刻、向きから逆算によつて海底変動区域の大きさ、向きなどを推定することが出来る。



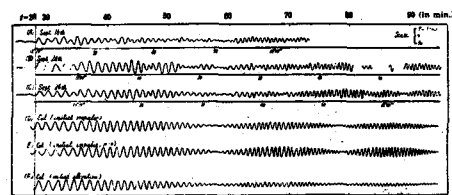
才3図

実際にこのようにして推定した地震区域は大凡その地震の余震域と合致し、直径 50 km 乃至 600 km 程度で、地震の規模が大きくなる程大きくなつてゐる。

さて地形変動が終つた時に海面に出来てゐる波形には実は色々な波長の波が含まれてゐる。これら波の内、波長が海深の20倍以上もあるものは殆んど $\sqrt{gh}$ の速度で伝わるが、それ以下の波長のものは伝播速度が波長と共に減小する。従つて時間が経ち、波が遠方へ伝わる程波列が長くなる。即ち一ヶ所で見ると津浪の継続時間が長くなる筈である。理論によると可成り遠方での波形は

$$\zeta = \frac{F(k_0)}{2 \cosh k_0 h} \sqrt{\frac{k_0 \delta_0'}{\delta_0}} \cos(\delta_0 t - k_0 r), \quad \delta = \sqrt{gk \tanh kh}$$

であへられる。下付符 0 は $\delta_0' = \delta_0'$ を満足するような k_0 に対する値を示し、 $'$ は k についての微分、 $F(k)$ は海底変位 $f(r)$ の Hankel 変換である。 $f(r)$ が $r < a$ の範囲で一定の場合には $F(k)$ は $J_1(ka)$ に比例するから波列は唸りを示すことになる。唸りの波長は巨離の大きい程、 a の小さい程長くなるから、よく認められるようになる。明神礁噴火による津浪等はこの例である。



才4図 明神礁津浪, D, E, F は計算値

実際の津浪では a が大きく、 r が小さいから波がさほど分離してゐないためであつて、波形は非常に複雑で、周期数十分から1~2分までの波から成立つてあり、数十時間も振動が継続する。遠方では程波列が簡單化することは確かであるが、上記のような唸りは

は浸水高1.5mで半潰、2mで倒潰、二階建は階下が壊れて一階建となる。浸水高が2.3m位になると基礎に緊結してない平屋は浮き出して壊れる。最も激しい作用をうけた場合には家は柱も板もバラバラに分解して押流され洗ひ掃はれる。時には土台石まで流失し、四辺一面の砂原と化す所もある。やゝ程度が軽くなると屋根はそのまゝ浮いて流れ、あるいはそのまゝ其処に残る。分解流失した柱や羽目は津浪の引くと共に一部は沖合に運が去られ一部は倒壊区域と半壊区域との境界に押付けられそこに山積する。漁船なども屢々陸上に押流され、置去りにされる。

これらの流木や漂流船舶は假令流速は小さくても質量が大きいため、衝突すれば大きな破潰力を発揮する。従つて津浪災害の軽減にはこれらの防止が大切である。

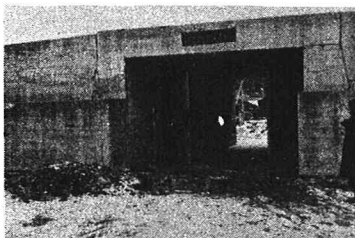


昭和27年3月4日 十勝沖津浪
北海道霧多布の津浪襲来写真

津浪のときには屢々襲来前にダイナマイトの如き、あるいは遠雷の如き音響を聞くことがある。音は海岸のみでなく内陸でも聞える。これは井上の研究によると余震に因る地鳴らう。又津浪のときにも、地震と同様色々な光物が見えると言ふ。寺田は夜光虫による可能性を論じたが、その本性は未だよく判らなう。その他前兆現象として漁獲の変化、魚類生態の変化、井戸水の変化、地磁気の変化等があったと言はれているが、それ等の説明は出来なうものが多い。

津浪防災には先づ津浪警報がある。津浪の虞れある地震を観測した測候所は、直ちに地震記録から諸元を読取つて気象庁地震課に打電する。同課では各所からデータから判断して津浪の虞れあるときは沿岸各市町村及び放送局その他関係諸機関に通報する。地震後ラヂオで警報されるまで約10~15分を要する。太平洋全域に対する警報センターはハワイ地磁気観測所で、気象庁とも情報交換をしている。

沿岸における防禦施設としては
(1)防浪堤、(2)防潮林、(3)避難道路、(4)安全住宅区、(5)海岸倉庫及び防浪線、(6)自動警報装置等がある。(1)は津浪による水流を重要地帯からそらせて緩衝遊水地帯に導く、(2)は浪の勢力を減殺しその破壊力を削ぎ、漂流物を防ぐ、(3)は海岸から直接高所に通ずるもの、(4)は高所に設定、産財生命を守るに最も有効、(5)は海岸並に主要路線にコンクリート建築を建並べて船舶、海水の流入を阻止しようとするもの、(6)は瀘波器式津浪計の応用で、湾口等に設置すれば数分早く警報が発せられ、早期避難に役立つ。

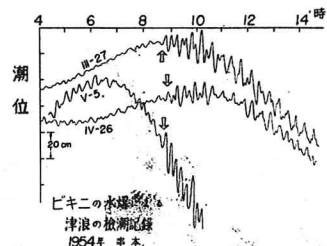
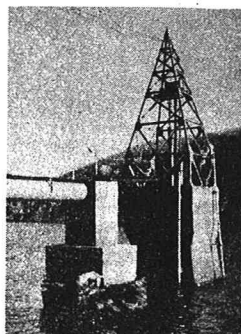


岩手県田老の防浪堤



岩手県高田松原の防潮林

右の写真は宮城県牡鹿郡女川町沖合10哩の江島にある津浪観測所で、各種津浪計、波浪計の外、微気圧計、その他一般の気象観測も行っている。これと同様のを現在伊豆大島に計画中である外、八丈島でも津浪観測を行っている。



上 ビキニの水爆による津浪記録
1954年、串本に於て観測
左 宮城県江島津浪観測所