防潮堤の設計高を超える津波の挙動に関する数値実験

——静岡県松崎および岩手県田老の場合——

(財)地震予知総合研究振興会* 相 田 勇

損害保険料率算定会** 坪川博彰・川口正明

(昭和 63 年 5 月 13 日受付; 昭和 63 年 6 月 25 日受理)

Numerical Experiments on Behavior of Tsunamis Exceeding the Design Height of a Sea Wall

——Case Studies for Matsuzaki, Shizuoka Prefecture
and Taro, Iwate Prefecture——

Isamu AIDA

Association for the Development of Earthquake Prediction, Izumi International
Enterprise Building 6F, Kanda-Mitoshiro-cho 3, Chiyoda-ku, Tokyo 101

Hiroaki TSUBOKAWA and Masa'aki KAWAGUCHI

The Fire and Marine Insurance Rating Association of Japan,
Kanda-Awaji-cho 2-9, Chiyoda-ku, Tokyo 101

(Received May 13, 1988; Accepted June 25, 1988)

The height of a sea wall is usually designed based on water levels of large tsunamis experienced in the past. Behaviors of tsunamis exceeding the design height are examined by means of numerical experiments taking the sea walls at Matsuzaki, Shizuoka prefecture and at Taro, Iwate prefecture. In the case of Matsuzaki, the inundated area reduces to 70 percents of the original one by the presence of the wall although the invasion of tsunami through the river mouth, where no water gate is constructed, is noticeable. In the case of Taro, the sea wall height is designed at 10 meters that equals the height of the 1933 Sanriku tsunami. According to our experiment, however, if a tsunami has the same height as that of the 1933 tsunami, the water level close to the wall front becomes higher than the height of the sea wall. In this case, the water level at some places in the town becomes so high as to give rise to human and material damage in spite of the construction of the sea wall. It is recommended, therefore, that local inhabitants take refuge onto hilltop, unless a small height is predicted by the tsunami warning.

§ 1. はじめに

近年全国各地の港湾では、海岸に津波対策用としての何らかの防潮堤が建設されている。その天端の高さは、過去に経験した津波の高さ、あるいは想定される津波の高さなどによって決められているが、次に来襲する津波が不幸にしてその高さを超える場合が皆無とはいき

ないであろう。また河口、港口などで防潮堤が断たれ、ゲートを設けることが困難な場合は、その部分からの津波の侵入が避けられない。

このような防潮堤の津波に対する特性、防潮堤による浸水域の減少、災害防止の効果などに関して、基本的な調査を行っておくことは、防災上も必要なことである。岩崎・他(1981)は、岩手県綾里を例として、数値実験によるこの種の調査を行い、綾里の防潮堤がチリ津波の高さに基づいて建設されているため、もし三陸津波と同じ高さの津波が襲うと、ほぼ 1933 年当時同様な浸水域を

昭和 61 年 10 月 9 日および昭和 62 年 10 月 7 日発表

* 〒101 千代田区神田美土代町 3

泉国際産業ビル 6F

** 〒101 千代田区神田淡路町 2-9

Fig. 1. Map showing the area under computation at Matsuzaki in Shizuoka prefecture and change in the water level with time at point H_0 .

生じると警告している。ここでは、静岡県松崎町と岩手県田老町にある防潮堤に関して津波挙動の検討を行った。

§ 2. 数値実験の方法

津波の数値計算は現在さかんに行われており、方法に関する吟味もなされている [例えば、後藤 (1986)]。ここでは相田 (1977a) や、相田・羽鳥 (1982) などが行った遡上数値実験の方法を使用した。すなわち浅海波方程式、

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} &= -gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} - f_c \frac{q_x Q}{D^2} \\ &\quad - \left(\frac{q_x}{D} \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{q_y}{D} \frac{\partial q_x}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial q_y}{\partial t} &= -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} - f_c \frac{q_y Q}{D^2} \\ &\quad - \left(\frac{q_x}{D} \frac{\partial q_y}{\partial x} + \frac{q_y}{D} \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= -\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \end{aligned}$$

を差分化してリープフロッグ法で解くものである。ここに q_x, q_y は深さについて積分した流量の x, y 成分、 ζ は

水位上昇、 $D=h+\zeta-\xi$ 、 h は静水面からの水深、 ξ は断層運動による海底の鉛直変位、 f_c は海底摩擦係数、 $Q=\sqrt{q_x^2+q_y^2}$ である。

なお f_c は陸上域では、地表面の状況、建物の密集度などによるエネルギー損失を代表する等価摩擦係数と考え、後に示すような適宜な値 [相田・羽鳥 (1982)] を採用した。また防波堤・防潮堤の越流に対しては、間間公式 [土木学会 (1971)] による越流係数によって流量を計算した。

§ 3. 静岡県松崎の場合

3.1 実験条件

静岡県松崎は、伊豆半島南端に近い西岸の港である。那賀川の河口を利用した港の入口を除いて、海岸部は高さ 6 m (T.P.上) の防潮堤が建設されている。外海での津波の高さを変えて、防潮堤内へ侵入する津波の状況を検討するため、Fig. 1 に示すような範囲の数値計算を行った。すなわち港内から陸上部にかけて間隔 31.25 m の格子、 61×65 個の範囲を遡上計算し、その外側に格子間隔 62.5 m の通常の計算領域を付した。その最も外側の格子列に、 $\eta = A_0 [\exp -3(t/T)^2 - \cos 2\pi(t/T)]$ で示される波形の入射津波を与えた。この形は安政東海津波の数値実験 [相田 (1981)] の結果を参考にして決め、 T を 10 分とし、 A_0 は 0.5 m ~ 2.0 m に変化させた。この入射波と反射波が重畳した波形を、Fig. 1 の H_0 点について図の上部に示した。

また遡上計算領域の詳細は Fig. 2 に示されているが、陸上部の地形および港内水深は、1/5,000 「松崎港平面図、静岡県」を、また港外水深は水路部の海図 No. 84 を参照した。図中斜線で影をつけた範囲は家屋が稠密なところで $f_c = 1.0$ 、点で影をつけた部分は家屋が疎の部分で $f_c = 0.2$ 、その他の陸上部は $f_c = 0.01$ 、海底部は $f_c = 0.005$ を与えた。また 3.2, 6 と数字を付した太線は防波堤、防潮堤とその天端高を示す。なお図中のコンターは T.P.を基準にした水深と地表の高さである。

3.2 結果

H_0 が 3.3 m および 4.33 m で、防潮堤がない場合の浸水分布を Fig. 3(a) (b) に示した。図中に示してあるように、地上の浸水高 H_r が、① 1.5 m 以上、② 0.5 ~ 1.4 m、③ 0.4 m 以下の 3 通りに別けて記号で示してある。① は家屋の損壊を生じる程度の高さである。Fig. 3(a) に A, B で示した点は、1854 年安政東海津波の際、それぞれ約 3.3 m、および 3.6 m の高さになったと推定されている [羽鳥 (1977)]。この図の場合の数値実験では、A 点で 3.4 m、B 点で 3.6 m と計算されており、安政東海津波の高さとほぼ等しくなっている。しかしその時の浸水

Fig. 2. Details of the inundation model at Matsuzaki. Effective friction coefficients f_c are assumed as 1.0 in the hatched area that consists of crowded houses, 0.2 in the dotted area, and 0.01 in other areas, respectively. The sea walls are shown with thick lines to which numerals that indicate their heights are attached.

Fig. 3. Inundation area in Matsuzaki as classified by the computed inundation heights above ground, H_r . (a) (b) and (c) (d) are the results for cases without and with the sea wall, respectively.

域はC点付近に達していたらしいので、数値計算の浸水域の方がやや狭い。これは数値計算が現在の町の家屋密集状況に基づいているため、陸上奥深く侵入することを妨げていると考えられる。それを考慮すると、この(a)のケースは安政東海津波を近似しているものと考えてよいであろう。

この場合の津波の浸水は、河口からの浸水が大部分であり、那賀川沿いに600 m以上も浸水している。一方海岸および北端（図では右端）の小水路からも浸水がある

が、Fig. 2の地形でみるように、海岸沿いに標高4 m以上の高所があり、その部分およびその背面が浸水を免れている。更に $H_0 = 4.33$ mの津波の場合をFig. 3(b)に示す。この場合は浸水は更に進み、那賀川沿いには750 m以上の地点にまで達する。また海岸前面および北端の小水路からの浸水によって、ほとんど町の集落全域が浸水していることがわかる。特に $H_r > 1.5$ mの面積の増加が著しい。

一方防潮堤が建設された現状での津波の挙動を、Fig.

Table 1. Reduction of the inundation area by the sea wall.

H_0 (m)	Inundation area									Area of $C^2H_r > 8 \text{ m}^3/\text{s}^2$		
	Left bank				Right bank				Total (ha)	Left bank (ha)	Right bank (ha)	Total (ha)
	$H_r > 1.5$	$1.4 > H_r > 0.5$	$H_r < 0.4$	Total	$H_r > 1.5$	$1.4 > H_r > 0.5$	$H_r < 0.4$	Total				
4.33	0.85	0.97	0.92	0.92	0.57	0.44	0.62	0.53	0.69	0.74	0.59	0.67
3.30	0.67	0.97	1.18	0.96	0.73	0.48	0.34	0.50	0.70	0.76	0.72	0.74

H_0 : maximum heights of tsunami at the outer rim of the computation area.
 H_r : inundation heights above ground.
 C : current velocity of flooding water.

Table 2. Fault parameters of source models for the Sanriku tsunamis.

	M	L (km)	W (km)	δ ($^\circ$)	θ ($^\circ$)	U_s (m)	U_d (m)	M_0 (dyn·cm)	M_w
1933·3·3	8.1	185	50	45	N 0E	0	6.6	4.3×10^{28}	8.36
1896·6·15	8 1/2	210	50	20	N24E	-6.7	-10.6	5.9	8.45

M , earthquake magnitude; L , fault length; W , width; δ , dip angle; θ , direction of strike; U_s , strike slip component (right rateral +); U_d , dip slip component (normal +); M_0 , seismic moment; M_w , moment magnitude.

Fig. 4. Changes in the water levels at the outer rim of the area under computation. For the 1896 tsunami, the amplitude is multiplied by 0.78.

3(c), (d) に H_0 が 3.3 m および 4.33 m の場合について示してある。まず安政東海津波に相当する (c) を (a) とくらべてみると、海岸および町北端部からの津波の浸水は、完全に防止されていることがわかる。Fig. 2 を参照すると、ここは町の最も密集した集落のある部分で、防潮堤の効果が認められる。しかし河口部からの津波の侵入量は意外に多く、那賀川沿いの浸水域は、防潮堤のない (a) に比べて僅かに減少している程度である。 $H_0=4.33 \text{ m}$ の場合の Fig. 3(d) でも、海岸前面からの浸水は防潮堤によって阻止されていて、町の人家稠密部分は浸水していない。しかし河口からの侵入は防潮堤のない場合と

の差が少く、また町の北端小水路からの浸水が、町の低地にしみ出すように拡がっている。

以上の結果から、那賀川の左岸と右岸にわけて、地表からの浸水高さ別の浸水面積、およびその浸水高さに流速の 2 乗を乗じた積（水流の圧力を代表する）が $8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ 以上に達した部分の面積を、防潮堤のない場合とある場合とで比較した。防潮堤のあることによる面積の縮少率を Table 1 に示す。浸水域でみると、那賀川左岸の縮少率が僅かであるのに比べて、右岸側はかなり縮少している。 $H_0=3.3 \text{ m}$ の場合の $H_r < 0.4 \text{ m}$ の面積は、防潮堤があると、ない場合に比べ約 1/3 になっている。総浸水面積でみると、防潮堤によって約 70% になっている。また家屋損壊が浸水家屋の 50% を越えるような $C^2H_r > 8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ [相田 (1977a)] の面積は、 $H_0=3.3 \text{ m}$ のとき左岸も右岸もほぼ 70% 程度に減少している。しかし $H_0=4.33 \text{ m}$ では防潮堤後背地への浸水がないことにより右岸の面積縮少率が 59% になることがわかる。

§ 4. 岩手県田老の場合

4.1 実験条件

岩手県田老は、1933 年および 1896 年の 2 度の三陸大津波で大きな災害を被ったところであるが、それを教訓に有名な大防潮堤が建設されている。そこで検討の対象をこの二つの津波とし、波源は相田 (1977b) によって求められているモデルを用いることにする（断層パラ

Fig. 5. Area for the inundation model at Taro, Iwate Prefecture. Effective friction coefficients f_c are assumed 0.1 in the thickly shaded area, 0.05 in the thinly shaded area, and 0.01 in other areas, respectively.

Fig. 6. Distribution of the maximum water rise above the still water level computed for the 1933 Sanriku tsunami assuming no wall. Solid circles and numerals indicate the observed spots and the tsunami height observed. Double circles with numbers are the points where the changes in water level with time are shown in Fig. 8.

メータは Table 2 参照)。外海計算格子は 5 km とし、田老近傍浅海域を 1/2 づつ 4 段階に格子間隔を細かくし、最終の間隔 312.5 m の 7×13 個の格子域外縁水位を、すべて一旦ディスクにファイルした。その代表点（水深 29 m）の波形を Fig. 4 に示す。

1933 年津波と 1896 年津波の特徴は、1933 年の場合の下げ波の大きいことであろう。この地震は正断層であった [KANAMORI (1971)] ので、海溝より陸側に大きい沈降域を生じ、下げ波を発生したのである。それに対して、1896 年の地震は逆断層地震と考えられており [例えば、羽鳥 (1974)]、そのため初め下げ波があらわれてはいるが、その大きさは上げ波に比較して小さい。

田老の津波遡上計算を行うために、格子間隔を更に 1/2 の 156.25 m にして、この領域の外縁にさきにファイルした津波水位を入力として与えた。入力としてはこの水位のみを与え、その他の条件は無視した。この領域の奥に Fig. 5 で示す範囲を、格子間隔が 31.25 m の浸水モデルとして設定した。図中濃い影をつけた地域は、人家が比較的集中している地域で、その部分には等価摩擦係数 $f_c = 0.1$ を与えた。つぎに薄い影をつけた地域は防潮林であって、 $f_c = 0.05$ を与えた。その他の陸上部および 5 m 以浅の海底は $f_c = 0.01$ 、水深 5 m 以上の海底は $f_c = 0.005$ を与えた。

また図中で、二重線に点を入れたものは津波防潮堤で

あり、X 字形に交わっている。これは北と西に延びるものが初めに建設されたのであるが、その後居住区域の拡大、港の埋立などに伴い、東および南に延びる防潮堤が建設され、このような形となったものである。高さはいずれも T.P. 上 10 m となっている。防潮堤西端から延びる道路は、築堤になっているので、計算上はこの部分も防潮堤として取扱った。水深データは水路部発行の 1/50,000 海底地形図から読みとり、田老港付近は「田老漁港修築計画図」を参照した。また陸上の標高は「1/5,000 北上山系開発調査図、田老町」によった。

4.2 1933 年三陸津波

まず 1933 年三陸津波の波形 (Fig. 4) を用いて、防潮堤を取除いた地形で計算を行った。計算結果から静水面上の最高水位の等高線を引いたものが Fig. 6 である。これによると海岸付近で 12 m 程度となっている。当時の調査報告 [地震研究所 (1934)] によると、その地図上にプロットされた津波の高さは Fig. 6 の黒丸で示した 10 m, 7 m となっている。数値実験でも 12 m の等高線の西側、黒丸の 10 m と記した地点のやや西では 10~10.5 m 位の高さを示しており、この数値実験結果は実際津波よりやや大き目の傾向があるものの、1933 年津波の挙動にかなり近似していると考えてよいと思われる。

Fig. 7. Distribution of the maximum inundation heights above ground as computed for the 1933 Sanriku tsunami assuming the presence of the wall. The thick lines show the sea walls having a 10-m height.

なお外周に屈曲した細線で描いたものは浸水域の境界であって、Fig. 5 の地形からみるとほとんど標高 10 m の線まで浸水していることがわかる。

つぎに高さ 10 m の防潮堤が建設された現状での数値実験から、地表上の最高浸水高を Fig. 7 に示した。太い実線が防潮堤をあらわす。防潮堤外側の水位が、防潮堤のなかった場合よりかなり上昇し、局部的・瞬時的には 20 m にも達する。したがって 10 m の防潮堤を乗り越えて堤内に浸水し、浸水高の高い所は、新旧防潮堤の交叉する内側部分で、部分的に 6 m 以上になっており、全体としても 2 m 程度浸水することになる。旧防潮堤の内側は、新防潮堤と交わって堤体が一つになっている部分のみ、局部的に 4~6 m の高さの浸水があるが、その他は 2 m 以下で面積も小さい。この場合の浸水域は、細い実線の屈曲線で示してあるが、点線で示した防潮堤のない場合の浸水域と比べて、とくに旧防潮堤内側で狭くなっていることがわかる。

Fig. 6 に番号 (No. 8~12) を付して示した二重丸の地点の浸水水位の時間的変化を、Fig. 8(a) に防潮堤のある場合、(b) に防潮堤のない場合についてプロットした。新防潮堤直前の No. 8 の水位を比較すると、防潮堤のない場合最高約 10 m であるが、防潮堤のある場合は最高 15 m に達し、数回にわたって防潮堤高さ 10 m を越えている。しかし新・旧防潮堤にはさまれた地域の No. 9, 10

Fig. 8. Changes in water level with time at the various spots denoted by the numbers in Fig. 6. (a) with the walls; (b) without the walls; (c) open circles show the speed of the wave front proceeding between two neighboring spots, solid circles show the speed of water wall in front of the tsunami.

では、防潮堤のない場合より水位は当然低くなり、時間的にもかなり遅れている。No. 11, No. 12 地点には浸水していない。たとえ津波が防潮堤を乗り越える場合でも、浸水の状況はかなりゆるやかになるから、被害の程度は軽減されるであろう。

1933 年津波の際に、津波に先立って突風を感じたという記録がある。地震研究所 (1934) の報告の田老村の項に、「風起って浪に先立って家が倒れたという」、「1 秒 10 米位の早さにて山上の木々を吹く暴風の如き音を立って来れりと云ふ」といった記事がみられる。このような風が起る機構を考えてみる。Fig. 8(b) から津波が上陸して先端の移動する速さを求めてみると、(c) に白丸でプロットしたように 4~6 m/s 程度である。しかし (b) の波の前面の形をみると、次第に前面が急峻になってきており、例えば 5 m のレベルの位置で前面の水の壁の進む速さを求めると、No. 10 から No. 11 の間で 13 m/s 程度の速さが得られる。これを (c) に黒丸でプロットしたが、この程度の速さなら、家が倒れるのは別として、前記の「1 秒 10 米位の早さ」の風というのはあり得そうである。ことに No. 10, 11 のあたりになると、東西に高所がせまって来るので、一層風を誘起し易くなると思われる。

4.3 1896 年三陸津波

つぎに 1896 年津波に対して Fig. 4 の波形を入力してみると、実験結果はやや大きくなり過ぎた。そこで入力 を 0.78 倍してみると、伊木 (1897) による実測津波高さ 14.6 m にほぼ見合った結果が得られた。この入力で防潮堤のある場合の数値実験から、地表上の最高浸水高さ

の分布を Fig. 9 に示す。防潮流堤外では 1933 年津波の場合と同様 20 m 以上の高さに達しており、防潮流堤の高さを越えている。したがって防潮流堤内への浸水により、新・旧防潮流堤にはさまれた領域では、ほとんど全面にわたって浸水、高さも 2 m 以上になる。ことに防潮流堤が交叉するあたりでは、8~10 m に達する部分もある。

しかし旧防潮流堤の内側では、浸水は 2 m 以下が大部分で、面積も限られている。Fig. 9 に細い実線で示した屈曲線は浸水域の外縁を示すが、点線で示した防潮流堤のない場合のそれと比較するとそれは明瞭である。

1933 年津波前面の風圧について先に言及したが、

Fig. 9. Distribution of the maximum inundation heights above ground computed for the 1896 Sanriku tsunami assuming the presence of wall.

1896 年津波の場合の波先端の壁の見かけの速さは、No. 10 と No. 11 の間で 26 m/s 程度になり、大津波のときかなりの風圧が発生する可能性を示唆している。

4.4 浸水と被害

前述のように、防潮流堤を越える津波が来襲すれば、浸水被害を生じるが、単に浸水のみに止まるか、家屋・構造物の破壊に至るかは、津波の流れの速さに強く依存している。これをあらわす指標として、8.3 で既に述べた、流速の 2 乗と地上浸水高さの積 C^2H_r が $8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ 以上の部分を斜線で影をつけて示したものが Fig. 10 で、左は 1933 年津波、右は 1986 年津波である。田老の場合この値が実に $100 \text{ m}^3/\text{s}^2$ を超える地域もかなりあり、これを二重斜線で影をつけて示した。図をみると新・旧防潮流堤にはさまれた地域に、かなり広く広がっている。 $8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ 以上の範囲は、1896 年津波の場合ほとんど浸水域全域である。

$100 \text{ m}^3/\text{s}^2$ を超える地域は Fig. 9 からみると、地上の浸水高 4 m 以上の地域に相当しており、したがって流速は 5 m/s 程度と考えられる。津波による家屋破壊の機構としては、波圧による衝撃的な破壊も大きなものと思われるが、人家のこみ入った場所などでは、流体の流れによる圧力の効果も大きな要因と思われる。流体の流れによる圧力は、本質的に密度と流速の 2 乗の積に比例するから、水流 5 m/s は 140 m/s の風速にあたることになり、木造家屋が完全に破壊されるだろうことは想像に難くない。羽鳥 (1984) は $C^2H_r \approx 100 \text{ m}^3/\text{s}^2$ で家屋の破壊率が 100% に達するとしている。彼の C の求め方は、数値実験とは異り直ちに比較は出来ないが、破壊率の高さを共に示すといえよう。

しかし旧防潮流堤内側は浸水はあっても破壊は少く、かなり安全ということが出来よう。田老の場合、町の発展と共に旧防潮流堤の外に新防潮流堤が建設され、たまたま二

Fig. 10. Distribution of the representative hydraulic pressure which is expressed by the product of the square of water velocity and inundation height above ground. Thickly and thinly hatched areas indicate the regions where hydraulic pressure become more than $100 \text{ m}^3/\text{s}^2$ and $8 \text{ m}^3/\text{s}^2$, respectively.

重構造になったものであるが、それが旧防潮堤内側の安全性には重要な役割を果たしている。

§ 5. む す び

津波対策として建設された防潮堤に、設計高さより高い津波が来襲した場合の挙動を検討した。その結果をまとめるとつぎのようである。

① 河口あるいは港口に防潮水門が無い場合は、そこからの津波の侵入が大きい。

② 過去の津波の高さで防潮堤の高さが決められていると、その高さの津波が来襲した場合、防潮堤外直前では反射の影響で水位が高くなり、津波は防潮堤を越える。

③ 防潮堤を越えた場合、すぐ内側の地域はかなりの浸水高さで速い水流の影響を受け、家屋などが破壊される危険性がある。

④ 来襲する津波の高さが、防潮堤を越えないことが確かでない限り、高所へ避難することが必要である。防潮堤があることによる安心感から避難を軽視するようなことがあれば、非常に危険な事態を招くおそれがある。

謝 辞

現地地形や防潮堤に関するデータの提供を頂いた、静岡県および田老町御当局に感謝の意を表する。

文 献

- 相田 勇, 1977a, 陸上に溢れる津波の数値実験——高知県須崎および宇佐の場合, 地震研究所彙報, 52, 441-460.
- 相田 勇, 1977b, 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 地震研究所彙報, 52, 71-101.
- 相田 勇, 1981, 東海道沖におこった歴史津波の数値実験, 地震研究所彙報, 56, 367-390.
- 相田 勇・羽鳥徳太郎, 1982, 尾鷲市街に遡上した津波の数値実験, 地震研究所彙報, 57, 337-350.
- 土木学会, 1971, 水理公式集, 土木学会, 265pp.
- 後藤智明, 1986, 津波数値計算, 1986年度(第22回)水工学に関する夏期研修会講義集 B コース, 土木学会水理委員会, B-3-1~B-3-21.
- 羽鳥徳太郎, 1974, 東北日本太平洋側における津波の波源, 地震 2, 27, 321-337.
- 羽鳥徳太郎, 1977, 静岡県沿岸における宝永・安政東海地震の津波調査, 地震研究所彙報, 52, 407-439.
- 羽鳥徳太郎, 1984, 津波による家屋の破壊率, 地震研究所彙報, 59, 433-439.
- 伊木常誠, 1897, 三陸地方津波実況取調報告, 震災予防調査会報告, 11, 5-34.
- 岩崎敏夫・真野 明・荒井 唯, 1981, 綾里湊における津波の数値解析, 第28回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 79-83.
- 地震研究所, 1934, 昭和8年3月3日三陸地方津波に関する論文及報告, 地震研究所彙報別冊, 1号, 第2編報告, 250pp.
- KANAMORI, H., 1971, Seismological evidence for a lithospheric normal faulting—the Sanriku Earthquake of 1933, Phys. Earth Planet. Interiors, 4, 289-300.