

## 津波強度と被害

首藤伸夫\*

### 1. 始めに

津波の大きさを表わすのに、しばしば津波マグニチュードが用いられている。これは津波全体のエネルギーに対応する量であって、異なる津波を比較するには適当なものであり、また津波によってもたらされる被害の総量を表示するにも便利な値である。しかしながら、沿岸の住民にとっては、津波全体の効果よりも、その居住場所での被害の大小のほうが重要な関心事である。地震の表示にマグニチュードと震度があってこの両者を区別しているように、津波にも局地的な被害に関係のある量を定義することが望ましいであろう。

ここでは、まず津波強度を定義する。津波による外力の主なもの、流体力であり、その中でも抗力（流速の自乗と物体の射影面積の積に比例）が主であろう。とすると、流速が全水深の平方根に比例すること、射影面積が全水深に比例することを考慮すれば、流体力は全水深の自乗に比例するから、津波強度は全水深の自乗に比例する形で定義されるのが望ましいであろう。こうすると、例えば、水深が0から1米迄を1階級に選ぶとすると、1米から2米までは3つの階級に分割されることとなる。ところが、利用できる資料の方は、水深の増加にともなって急速に数が減る為、階級毎の現象の分類が難しくなる。それ故、全水深の大きいところほど、逆に階級間隔を小さくして、1階級内に含まれる資料数を増やす必要がある。また、従来から用

いられている津波のマグニチュードとの関係をつけておくことも、将来の使用方法を考える上から重要なことである。したがって、飯田の定義を準用して、津波強度の定義を行なうこととする。

ついで、津波強度毎に、沿岸近くでの平均的な津波像、家屋被害、船舶被害、養殖筏被害、防潮林の効果の算定を、過去の資料に基づいて行なう。家屋被害については、家屋の構造別の被害発生の有無、および主として木造家屋よりなる沿岸集落の被害率の2つにわけて表示する。

### 2. 津波マグニチュードと津波強度

今村(1942)は、津波の波高と津波が影響を及ぼした沿岸の長さを考慮して、津波マグニチュードを決定することを提案した。明治三陸大津波が $m=4$ 、昭和三陸大津波が $m=3$ に相当するとした。その他の $m$ に対しては、波高や被害程度を記述で与えている。

これでは具体性が欠けるため、Iida(1963)は、最高の津波高 $H_{max}$ を使って求めることを提案した。

$$m = \log_2 H_{max} \quad (1)$$

これによって比較的客観性をもって決定することが出来るようになり、今村・飯田の津波マグニチュードとして現在広く使用されるに到っている。しかし、ここでは今村の定義に含まれていた影響範囲の大きさという概念は含まれないこととなった。そのうえ、最高津波高の取り方に恣意性が入ることが避けられない。

Soloviev(1970)は、局地的な平均津波高

\*東北大学工学部災害制御研究センター  
津波工学研究分野

を使い津波強度 $i_s$ を次式のように定義し、最高津波高の曖昧さを改良しようと試みた。

$$i_s = \log_2 (\sqrt{2} H) \quad (2)$$

この改良によって、今度は津波マグニチュードとの関連は薄くなったといわざるを得ない。

津波強度としては、Ambrasseys (1962) が改良 Sieberg 強度として提案したものが存在する。付録 1 に示すように i から iv 迄に分かれており、夫々内容が記述で与えられている。

今村が目指していた津波の影響の拡がりを取り入れた津波マグニチュード $M_i$ の表現を数式で与えた最初は Abe (1979) であった。すなわち、

$$M_i = \log H + \log R + C \quad (3)$$

である。ここで、 $R$  (km) は波源より観測点までの海上最短距離、 $H$  (m) はそこでの津波高、 $C$  は常数で日本太平洋側での近地津波に対しては、5.80 である。

同様の考慮に従い、しかも今村・飯田の津波マグニチュードと整合性を保った表現は、羽鳥 (1986) によって、次のように与えられている。

$$m = 2.7 \log H + 2.7 \log R - 4.3 \quad (4)$$

適用範囲は  $R = 20 \sim 2,000$  (km) である。

ここでは、上に述べた津波マグニチュードとの接続を良くすること、大きな波高に対しては資料数が少ないことを考慮して、津波強度を飯田の式にならって定義する。

$$i = \log_2 H \quad (5)$$

$H$  (m) は局地的な津波高で、汀線位置での平均水面から測った津波波峰の高さをとる。津波の形態、漁船、津波防潮林、養殖筏の被害に関してはこの定義でよい。個別の家屋に対する被害程度については、その浸水位であると解釈すれば、汀線近く以外の場所であっても、この定義を適用できる。もし、浸水域内に存在する家屋全体としての被害率を問題にするのであれば、最大打ち上げ高 $R$  (m) で置き換えればよく、これであることを明確にするために、この打ち上げ高強度を $i_R$ と書くこととする。

### 3. 汀線近くの津波の形状

風波やウネリは、汀線近くで砕波することが多く、その形式には巻き波砕波、崩れ波砕波などがあり、波形勾配と海底勾配によって分類される。例えば、最新のものとしては、Okazaki and Sunamura (1991) などがある。津波の場合にも同様の分類が可能なのと思われるが、その資料が少なく、特に波前面の波形勾配を決めることは難しい。また津波強度を使う立場からしても、津波毎の波形勾配を即座に計算することは不可能であるから、その表示のないほうが使いやすいであろう。

ここでは、先年度取りまとめた昭和 8 年三陸大津波の例により、津波高に基づいて区別をする。周期は 5 分乃至 10 分程度と考えれば良い。全体で資料数は 160 例である (首藤, 1991)。

全体は四つの型式に大別され、各々の型式は更に一つの副型式を含むこととなる。図-1 は津波高に関して、形式分類の出現回数を示すものである。

形式-I は、潮汐に類似しているとされるものである。「水面は潮汐のようにゆっくりと上昇した」、「津波は速い潮のようである」、「津波は岸に向かって静かに進み、防波堤の所で急に盛り上がった」などと表現される。そのいくつかは、先端に「畦のように」波打つ短周期波を持っていた。その短周期波が砕波したものもあり、これを形式-I' とした。この形式-I は、比較的急勾配の海岸に比較的波形勾配の緩やかな津波が襲来したときに発生するものであって、160 例中 42 例がこの形式であり、そのうち 7 例が、前面での砕波する短周期波を伴っていた。図-1 において、丸印のついた所までがこの形式に対応しており、更にその中で左下がりの斜線を施した部分が、砕波する短周期波を伴った例である。

形式-II は、「沖では認められない津波が、

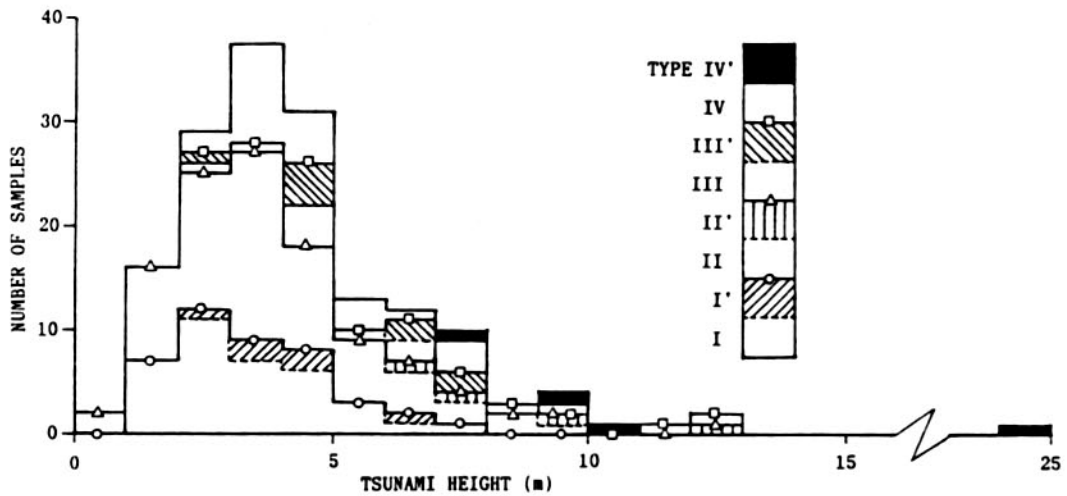


図-1 昭和三陸大津波の沿岸での形態毎の発生度数。全資料数160。形式-Iは潮汐に類似のもの、形式-IIは沖では認められない津波が岸近くで急に大きくなるもの、形式-IIIは沖において既に海の壁として認められるもの、形式-IVは巻き波砕波となるもの。

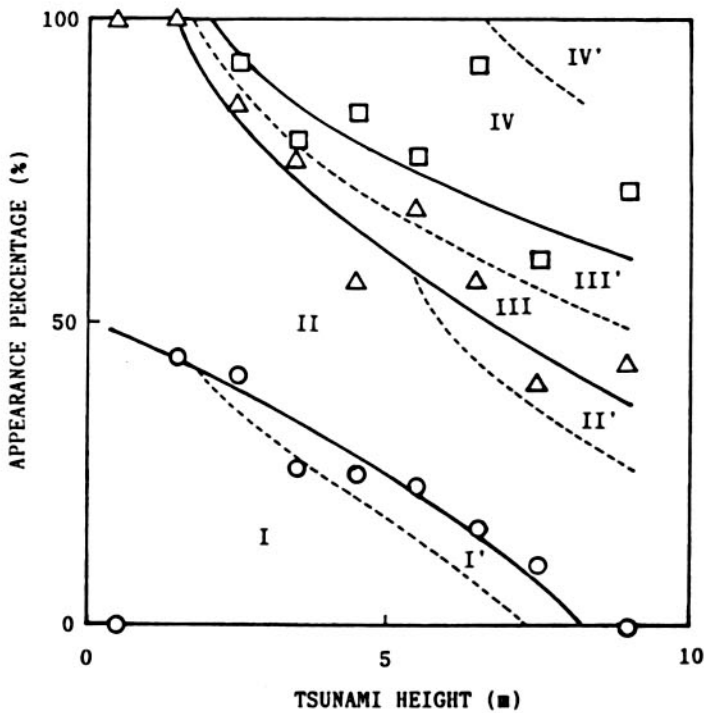


図-2 昭和三陸大津波における各形式の発生頻度。

岸にきて急に大きくなる」という表現で特徴付けられる。これは、海岸は比較的急勾配であり、津波は形式-Iにくらべ波形勾配が大きくなっていることを示唆している。全体で70例あった。この形式の津波は、「岸で急にふくれあがった」、「水が底からふくれあがった」、或は「短い波が次々と追いついてきて、前の波に重なるようにして水面が上がった」などと表現されている。図-1において、丸印と三角印の間の面積がこの形式に属する。縦線で示したもの(4例)は、峰のところが崩れ砕波となっていた。どちらかというときの高さの高いものである。これを形式-II'とした。

形式-IIIには22例があり、「沖でも既に認められていた津波が、岸近くで更に急に成長する」と表現される。比較的緩やかな海底勾配を有する場所での津波である。「堤防の土手のよう」、「幕を引いたよう」、「壁の頂が沖でもしぶきをあげていた」と形容される。図-1で、三角印と四角印とで囲まれた面積がこの形式-IIIである。その内の半分は、それほど津波の背が高くないにもかかわらず、崩れ砕波を伴っていた。これをIII'とする。図中、右下がりの斜線を施した部分がこれである。

形式-Nの津波は26例あった。これは巻き波砕波という、際だった特徴を有する。高さが2m程度と低くても、先行する波の引きと出会った第二波以降はしばしばこの形式となる。第一波でも、波高が大きくなると巻き波砕波となった。これをN'として黒塗の部分で示している。資料によれば、第一波が巻き波砕波となる最小波高は7mであった。

図-2は、上記の分布を基として、津波高の関数として形式別の出現率を表示したものである。10mを越える資料は僅か5例に過ぎなかったため、これを除外して描いた。丸、三角、四角などの印は上述した通り各形式の境界を与えるもので、実線がこれらの平均的な境界である。点線は副形式との境界である。

## 4. 家屋の被害程度

### 4.1 木造家屋よりなる集落の被害率

羽鳥(1984)は家屋被害率 $R_{DH}$ として次のように定義した。

$$R_{DH} = (a + 0.5b) / (a + b + c) \quad (6)$$

ここで、 $a$ は流失或は全壊した家屋の数、 $b$ は半壊した家屋数、 $c$ は浸水にとどまった家屋の数である。

図-3は、以上の定義に基づく明治三陸大津波にたいする結果である(Shuto, 1991)。津波高は実測値或は数値シミュレーションに基づいて与えた。図中、斜線を施したものが計算結果を用いたことを示す。黒丸は地面より測った浸水深、白丸は平均水面より測った最大の津波高である。家屋被害は津波高2m位から始まる。集落によっては、この位の津波高で殆ど全滅する。明治29年(1896年)には、家屋は基礎に定着されていないものが大多数であり、動かされ易かったものと考えられる。

図-4は、昭和8年三陸大津波(白丸)及びチリ津波(四角)に対する羽鳥の結果である。被害の始まる津波高は、図-3と同じ2mであるが、その後の被害率の増加傾向は、明治三陸大津波に比べ緩やかである。この時期から、地震対策などで、基礎に定着するものが増えていることが一因であろう。図-4中に筆者が与えた点線は、被害率を平均的に与えるものである。

以上では、力学的な考察を抜きにして、単に津波高で被害率を表現した。しかし、家屋被害の原因を作用する力に区別して考えると、水流の浮力、抗力、衝撃力、更に浮遊物の衝突力が挙げられよう。中でも、一般的には、抗力が最も代表的な力であろうと考えられ、例えば相田(1977)は水深と流速の自乗との積で抗力を評価し、これと家屋被害とを結びつけることを提案している。流速の実測値は入手できないので、計算結果を持って代

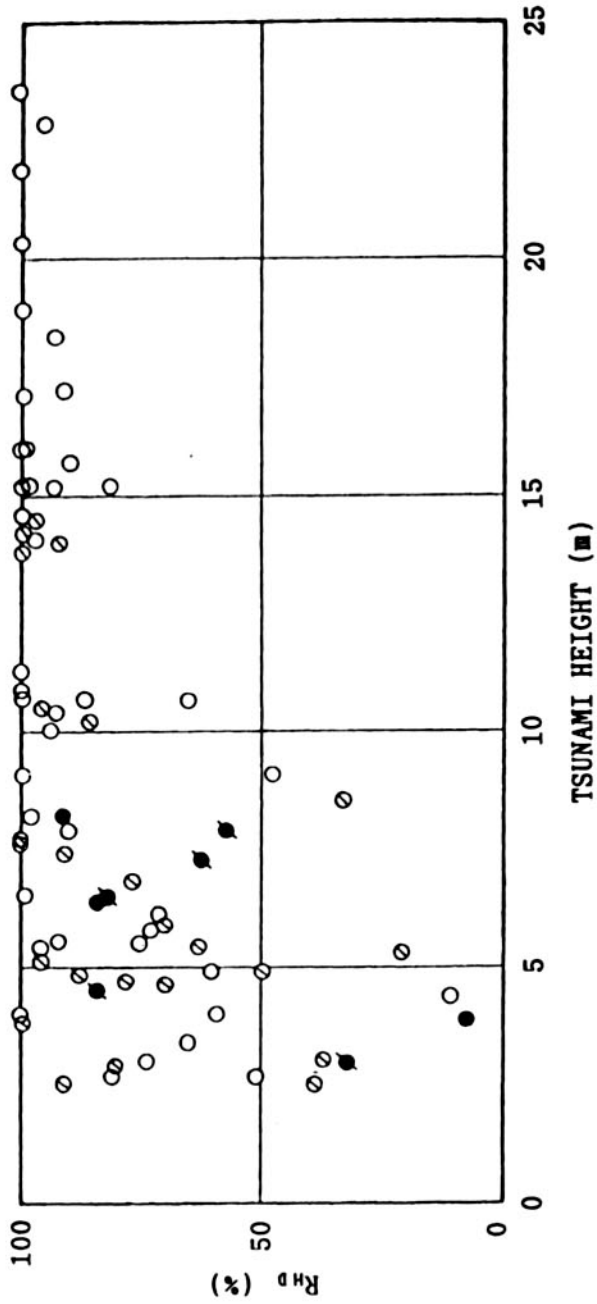


図-3 明治三陸大津波による木造家屋集落の家屋被害率。白丸印は平均水面より測った最大の津波高,黒丸印は地盤高を基準として測ったもの,斜線は計算値で津波高を補充したもの。

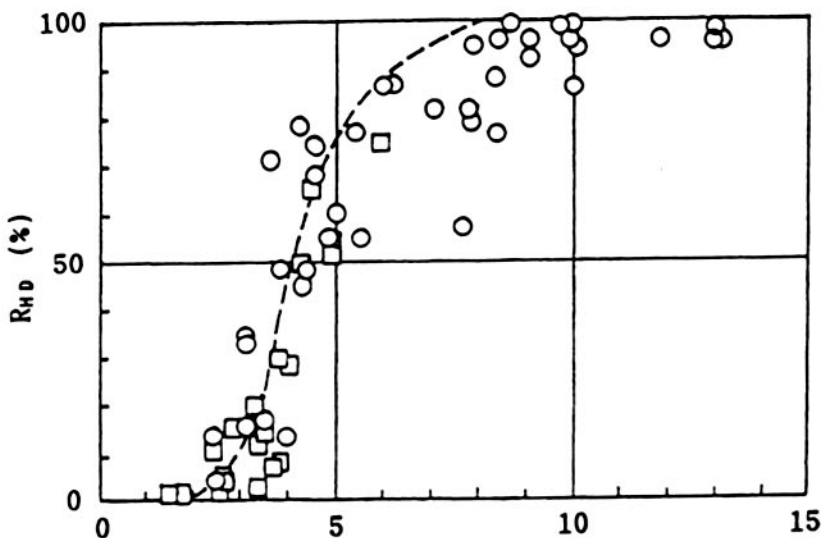


図-4 羽鳥の求めた昭和三陸大津波（丸印）及びチリ津波（四角印）による木造家屋集落の家屋被害率。横軸は平均水面上の津波高。図中の点線は平均的な線を筆者が引いたものである。

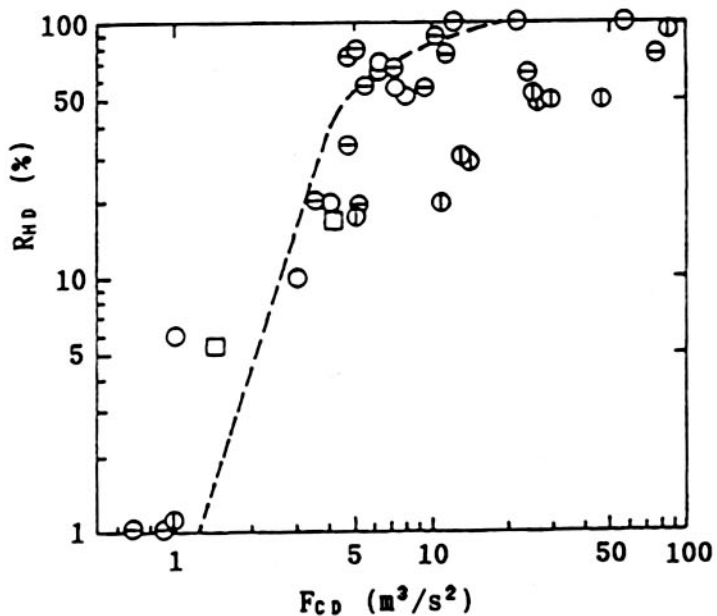


図-5 相田の定義による抗力と家屋被害率の関係。図中の点線は図-4の点線と対応するものであり、津波高での表示と流体力での表示とがよく対応していることを示す。

用するのが普通である。図-5がこうした表現の一例で、羽鳥(1984)、首藤ら(1986)、Sato et al.(1989)の結果をまとめてある。このうち、四角印で表わされているSato et al.の結果は洪水氾濫に対する値である。洪水では、水流の加速度はそれほど大きくないから、衝撃力よりも抗力や浮力が影響が大きいものと考えられる。それ故、洪水に対する被害程度が津波による被害と同程度になっていることは、津波でも抗力が主な因子となっていることを示している。

所で、図-5中の点線は、図-4中の点線と一対一に対応するものである。バラツキはあるものの、比較的良い対応を示している。津波による流速が浸水深と強く関係しているからであり、結局、津波高で被害率を論ずることは力学的にも有意義であることになる。

#### 4.2 個々の住宅の被害

住宅の被害程度はその構造によって大きく変化する。表-1に、過去の記録より得られた個々の住宅に関する資料をまとめて示している。データは、1883年のインドネシア・クラカタア津波、1908年のイタリア・メッシーナ地震津波、1933年の昭和三陸大津波、1946年のアリューション津波、1960年のチリ津波から得られている。それらの内容は、付録-2に該当箇所を引用して収録しておいた。

図-6は、これらを家屋種別にまとめた結果である。丸印は津波に耐えて残った例、四角印は部分的に被害を受けたもの、十字は破壊されたものである。資料数が少ないため、木造家屋を除き、破壊非破壊の境界は明確でない。石造家屋では、津波波高3mまでは確実に耐えており、7mでは完全に破壊されているが、その中間の情報は無い。鉄筋コンクリート・ビルでも、5mまでは生き残った例があり、20mでは完全に破壊された例が存在し、その間は空白となっている。鉄製の建物とは現在でも珍しい存在であるが、かつて灯台として使われていた事のあるものであっ

て、その構造については付録-3によって僅かに偲ばれるであろう。

## 5. 漁船の被害

### 5.1 明治及び昭和三陸大津波

漁船被害率 $R_{DB}$ を次のように定義する。

$$R_{DB} = (a + b) / (a + b + c) \quad (7)$$

ここで、 $a$ は流失した漁船数、 $b$ は破壊された漁船数、 $c$ は被害を受けなかった漁船数である。

明治三陸大津波(1896年)の場合、岩手県海嘯被害船舶及現存調表(明治29年7月10日調)では日本形船舶と西洋形船舶に区別されている。前者は漁船と小廻船となっており、これから漁船の被害を知ることが出来る。当時の事として、エンジンのついていないものが大半であったであろう(首藤伸夫, 1986)。図-7が結果である。丸印は測定された津波打ち上げ高を使ったもの、斜線をつけた丸印は計算値で代用したものである。被害は、津波高が2m程度となったときから始まる。

昭和三陸大津波(1933年)の場合には、農林省水産局の「三陸地方海嘯災害予防調査復命書」に漁船被害が述べられている。地区別に報告されているが、中でも第二区「岩手県綾里湾、越喜来湾、吉浜湾、唐丹湾、釜石湾、両石湾、大槌湾、船越湾、山田湾大沢まで」での被害が大きく、被害船舶に関する報告も詳細なものとなっている。付録-4に関連する部分を取りまとめておいた。この表では、小破という区分けもあるが、泊里の例のように、小破と安全とを区別しない事もある。当時は木造船が主で、小破程度では簡単な修理で再使用が可能であった事を反映しているのであろう。このことを考慮して、被害算定には、流失・破壊と記録されているもののみを対象とした。その結果が図-8である(Horikawa and Shuto, 1983)。ここでは、在来船(丸印)と動力船(黒四角)とに区別されている。在来船はエンジンの無いもの、動

表-1 家屋の種類による津波被害の程度。

鉄造

破壊されず H $\leq$ 15m スマトラ・ベンケレンの灯台(1983)<sup>1)</sup>

鉄筋コンクリート造

全壊 H $\approx$ 20m アラスカ・スコッチ岬の灯台(1946)<sup>2)</sup>  
 破壊されず H $\approx$ 5m ハワイ・ヒロのプウマイル結核病院(1946)<sup>2)</sup>  
 ハワイ・ヒロのナニロアホテル(1946)<sup>3)</sup>  
 ヒロ鉄工所(1960)<sup>3)</sup>  
 H=3.6m 大船渡(1960)<sup>4)</sup>  
 H=3-2.4m ヒロでの設計妥当なビル(1960)<sup>5)</sup>  
 H=2.9m 釜石・古峰丸待合所(1933)<sup>6)</sup>  
 H=2.5m 山田・松蔵屋倉庫(1933)<sup>6)</sup>  
 H=1.2m 大槌・三陸汽船事務所(1933)<sup>7)</sup>

石造・煉瓦造・コンクリートブロック造

全壊 H=16m ジャワ・メラクのニューベンハイス家(1883)<sup>1)</sup>  
 H=7m ジャワ・メラクのナウマン家(1883)<sup>1)</sup>  
 破壊されず H=2.9m 大船渡(1960)<sup>4)</sup>  
 H=2m イタリア・メッシーナ(1908)<sup>8)</sup>  
 H=2-1.5m 宮古・染谷製材所の二棟(1933)<sup>9)</sup>

木造

流失 H=3.5m 高浜(1960)<sup>4)</sup>  
 H=3-2.4m ハワイ・ヒロの木造構造物(1960)<sup>5)</sup>  
 H=2.9m 高浜(1960)<sup>4)</sup>  
 H=2.4m 津軽石(1960)<sup>4)</sup>  
 H=2.1m 関口(1960)<sup>4)</sup>  
 H $\approx$ 2m 織笠(1960)<sup>4)</sup>  
 H=1.3m 赤崎(1960)<sup>4)</sup>  
 部分破壊 H=2.0m 大船渡(1960)<sup>4)</sup>  
 H=1.8m 津軽石(1960)<sup>4)</sup>  
 H=1.6m 織笠(1960)<sup>4)</sup>  
 H $\approx$ 1.55m 織笠(1960)<sup>4)</sup>  
 破壊されず H $\approx$ 1.3m 山田(1960)<sup>4)</sup>  
 H=1m 山田(1960)<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Simkin and Fiske (1983), <sup>2)</sup> Lander and Lockridge (1989), <sup>3)</sup> Dudley and Lee (1988), <sup>4)</sup> 佐々木 (1960), <sup>5)</sup> Urban Regional Research (1982), <sup>6)</sup> 笹間 (1934), <sup>7)</sup> 辻 (1933), <sup>8)</sup> Platania (1908), <sup>9)</sup> 濱田他(1934)



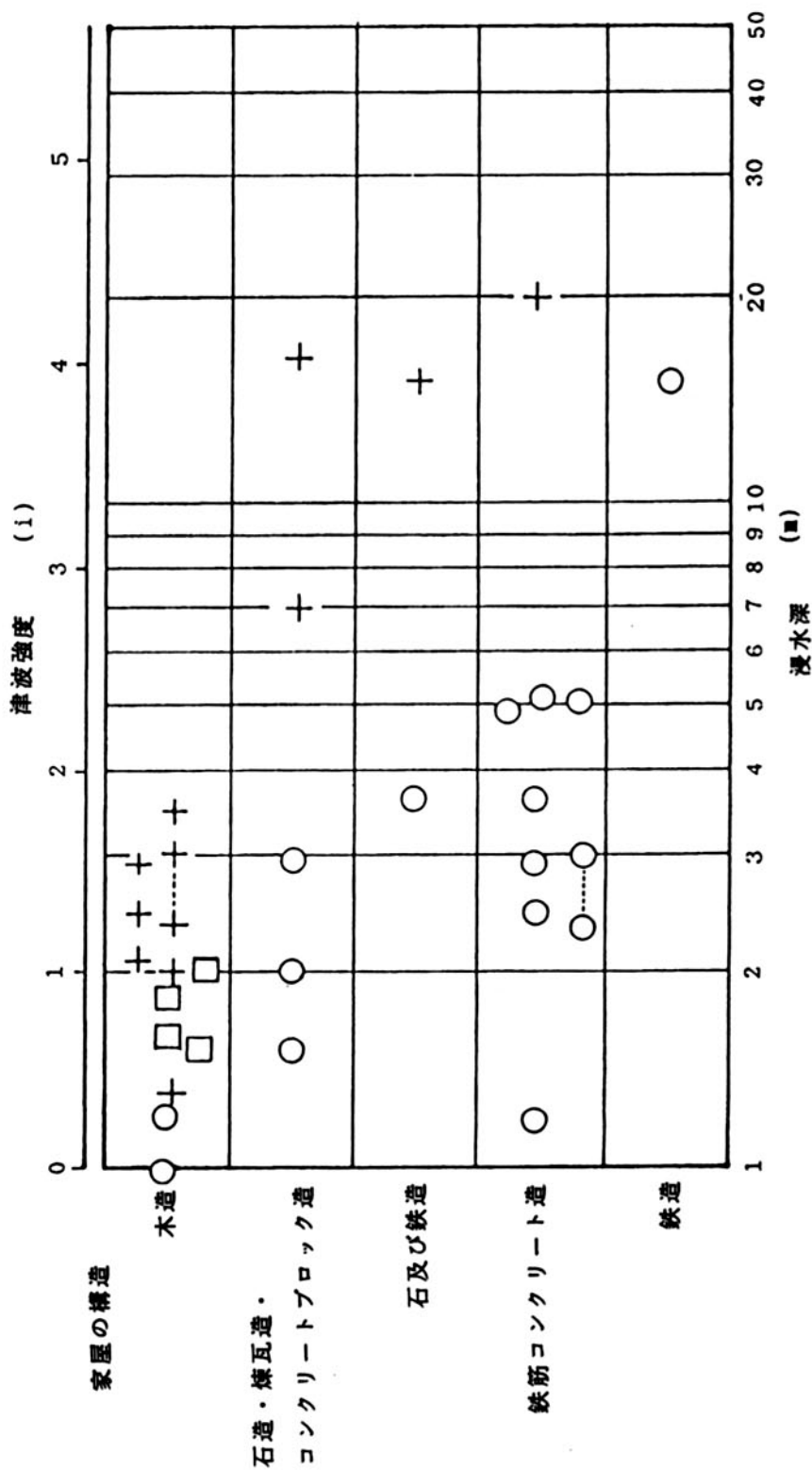


図-6 家屋の構造種別による被害程度。丸印は被害無し、四角印は部分被害、十字印は全壊を示す。横軸は家屋の浸水深。

力船は大型でエンジン付きのものである。ともに、津波高2m位から被害が出始める。在来船の被害率は、図-6のものとはほぼ同じ傾向で増えて行くが、動力船の被害率は緩やかにしか増加しない。大型船の方が被害を受けにくいのである。

## 5.2 日本海中部地震津波

1983年の津波の場合、水産庁による詳細な調査があり、財団法人漁港漁村建設技術研究所から「1983年日本海中部地震による津波に伴う漁船行動及び被害状況調査報告書」としてまとめられている。被害程度の区分が前二者と異なっているので、被害率を次のように定義する。

$$R_{DB} = \frac{(a + b + 0.5c + 0.25d)}{(a + b + c + d + e)} \quad (8)$$

ここで、aは滅失船舶数、bは大破船舶数、cは中破船舶数、dは小破船舶数、eは無傷の船舶数である。最近では、FRP船がふえ、小破程度でも簡単には修理できない。このことを考えると、小破までに比重を同じにして取り扱う方がよいのかも知れない。

図-9が結果である(Shuto, 1991)。被害の出始める水位は前二者と殆ど変わらない。ところが、大型船と小型船との被害の出方が昭和三陸大津波の場合とかなり異なる結果となった。全体として、明かに大型船の方が被害を受けやすいのである。これは漁港の整備に原因する所が大きい。漁港が防波堤で囲まれ、港内には係船岸が増え、自然海浜が無くなった結果、津波来襲時に港内に複雑な流れが生じ、しかも狭いため、大型船ほど操船が難しくなり、衝突の機会が増えたものと考えられる。

図-9に引いた点線は、船の寸法に関わらず、平均的な被害率を示すものである。

## 6. 養殖筏の被害

チリ津波後、紀伊半島の矢湾で佐藤(1960)により真珠筏の被害調査が行なわれている。被害程度を三つに分類する。Damagedとは筏が原位置から流失あるいは破壊または沈没し、70%以上の母貝が失われたもの、Partially damagedとは筏が流失し、他の筏と衝突し、20-30%の母貝が失われたもの、Undamageとは筏が動いたにせよ流出せず母貝も安全であったものである。

筏の被害には津波による流れの強弱が影響すると予想されるが、津波時の流速を測定したものは存在しない。チリ津波に対する的矢湾内の数値計算結果から、計算流速と計算水位の関数として図-10のように表現した(Nagano, Imamura and Shuto, 1991)。これを見ると最高水位が3mであっても被害の生じない例があるのに比べ、流速が1m/sを越えると被害が出始めている。狭い水道や浅い湾では最高水位1mで流速が1m/sを越えることもあり、被害が出ることになる。

## 7. 津波防潮林の効果と限界

津波に対する防潮林の効果に関しては、昔から肯定否定の二つに分かれる。肯定するのは、おもに次の四つの防災効果をあげる。

1) 防潮林は漂流物を阻止する、2) 津波による流れを緩和し、浸水深を減少させる、3) 津波にさらわれた人がすがりつき、救命に役立つ、4) 飛砂をとめ、砂丘を形成させ、自然の障壁を高める。

ところで、否定の意見は、大きな津波では防潮林はなぎ倒され、漂流物を生産し、家屋等への危険を増加させるというのに尽きる。

こうした疑問への回答は、過去の事例を整理することにより得られている(首藤, 1985)。使用例は、いずれも日本における津波に対するものである。防潮林の主木は、黒松が多く、ついで赤松、その他の種類は殆ど

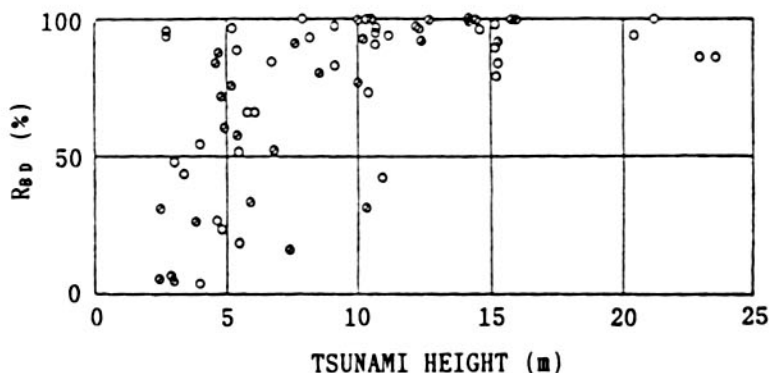


図-7 明治三陸大津波による漁船被害率。横軸の津波高は平均水面上の高さ。斜線は計算値で津波高を補充したもの。

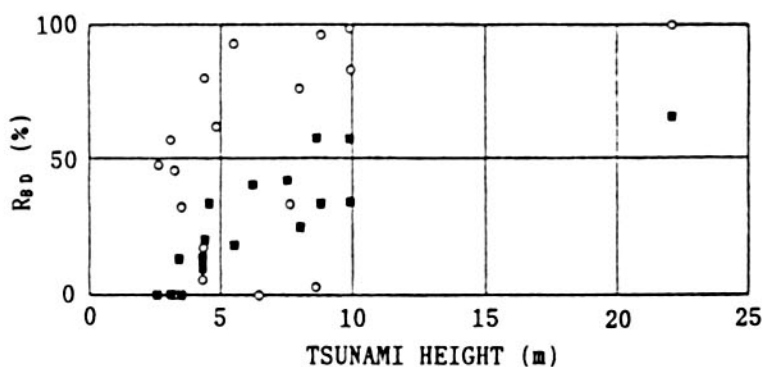


図-8 昭和三陸大津波による漁船被害率。白丸印は無動力船，黒四角印は動力船。横軸は平均水面上の津波高。

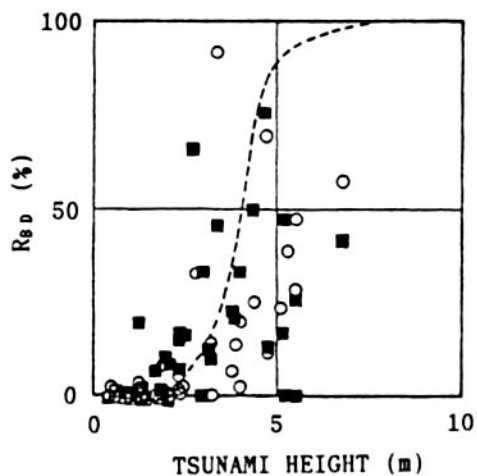


図-9 日本海中部地震津波による漁船被害率。白丸印は小型船舶，黒四角印は大型船舶。点線は船舶種別を考慮せずに引いた平均的な被害率曲線。横軸は平均水面上の津波高。

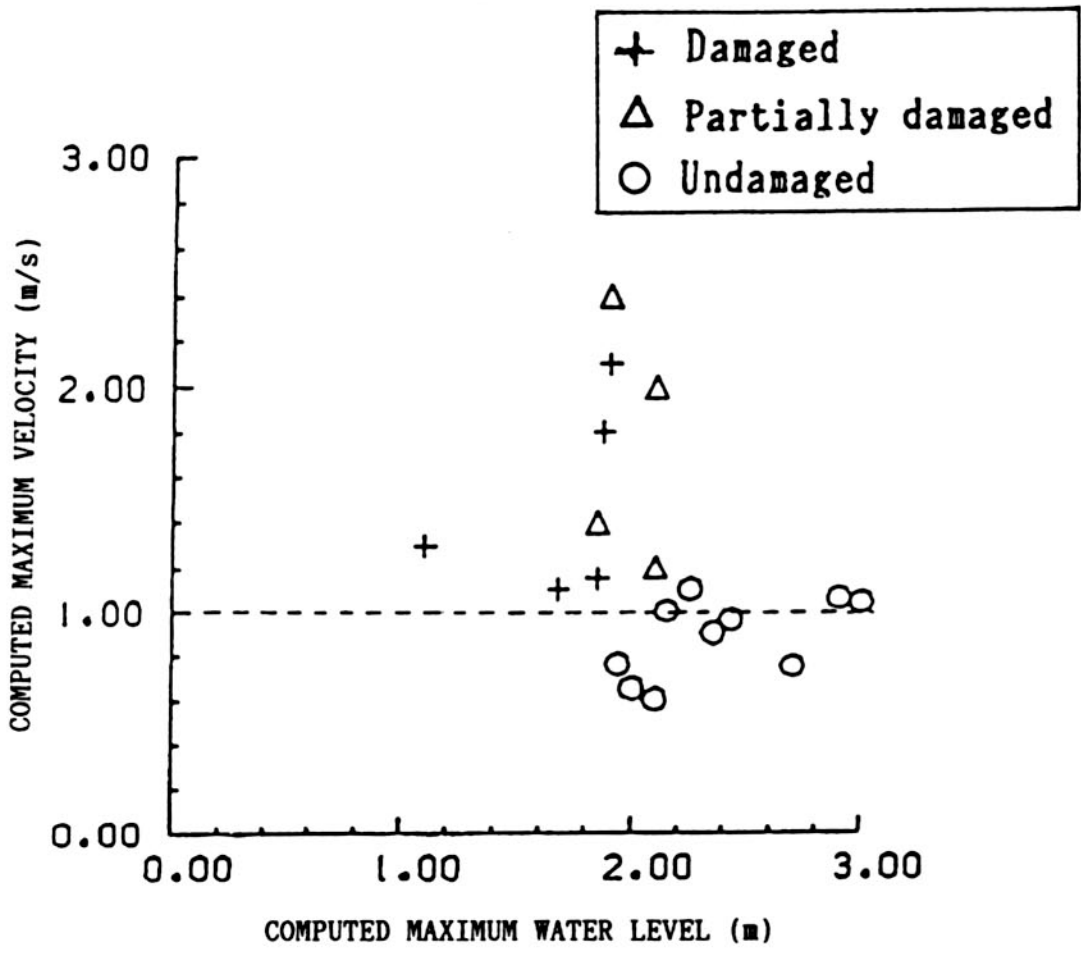


図-10 チリ津波による養殖筏の被害。白丸印は無被害，三角印は部分的被害，十字は全壊。水位，流速とも，数値計算値を使用している。

無い。防潮林の土質は砂で、その上を腐食土が薄く覆っているのが普通である。

防潮林の平均的な姿は、汀線に直な方向に測った幅が23m、そこに胸高径13cmの黒松が1.6m間隔に生えているといったものである。

防潮林の流体力学的な効果を表現するには、防潮林の厚み $d_n$ を使うのがよい。これは汀線に沿う方向に単位長さを持ち、直な方向に防潮林幅を持つ長方形を取り、この中に存在する主木の数 $n$ と平均胸高径 $d$  (cm)との積である。さらに、下生えの有無が津波減衰効果に大きく影響する。外力の大きさとしては、汀線での津波高を使用する。

図-11に見られるように、効果と防潮林の被害とによって、4つの主領域に分かれ、更に3つの副領域に分割される。

領域Aでは、主樹木に被害がなく漂流物阻止の効果はあるが、流勢緩和や浸水軽減は望めない。

領域Bの条件下では、主樹木に被害が生ずるから、効果をあまり期待できない。それでもB-1副領域では、主樹木が倒伏するにしても漂流物阻止は可能である。B-2副領域では全く効果を期待できない。

領域Cにおいては、下生えが密生しているならば、漂流物阻止に加えて流勢緩和効果をも期待できる。C-1副領域では、防潮林に殆ど被害が発生しない。C-2副領域内では、林帯内になんらかの被害が発生しうるが、その被害は防潮林が完全に破壊されるようなものではない。

領域Dでは、下生えが疎であっても流勢緩和をも期待できる。D-1副領域では、よほどの事が無い限り林帯内での被害は発生しない。D-2副領域では、林帯内表土洗掘のような被害が発生するが、防潮林の効果には大きな影響はない。

## 8. 津波強度と被害

前節迄の結果を津波強度毎にまとめると以下の通りとなり、これを表にしたのが表-2である。

- $i = 0$ . 海底勾配のきつい所では、津波は速い潮汐の様である。  
海底勾配が緩いと、沖では認められないにも関わらず、津波は岸近くで急に盛り上がる。  
養殖筏に被害が出始める。  
木造家屋のあるものは半壊の被害を受ける。
- $i = 1$ . 海底勾配のきつい所では、津波は速い潮汐のようであり、時としてその先端に砕波する短周期波をともなう。  
海底勾配が緩いと、沖においても水の壁のように認められる。時にはその先端が崩れ波砕波となる。  
第2波以降が先行する波の引きと出会うと、巻き波砕波となる。  
木造家屋は殆ど全滅する。  
石造、煉瓦造り、ブロック造りの家屋は耐え得る。  
漁船への被害が出始める。  
津波防潮林は漂流物を阻止できる。  
もし下生えが密であれば流勢も緩和できる。
- $i = 2$ . 津波の形態は $i = 1$ の場合と殆ど同じであるが、先端が砕波する率が増える。  
石造の家でも完全に破壊されることがある。  
鉄筋コンクリートの家は、生き残る。  
漁船の被害率は50%に達する。  
津波防潮林は部分的に被害を受けるが、漂流物を阻止する効果はある。

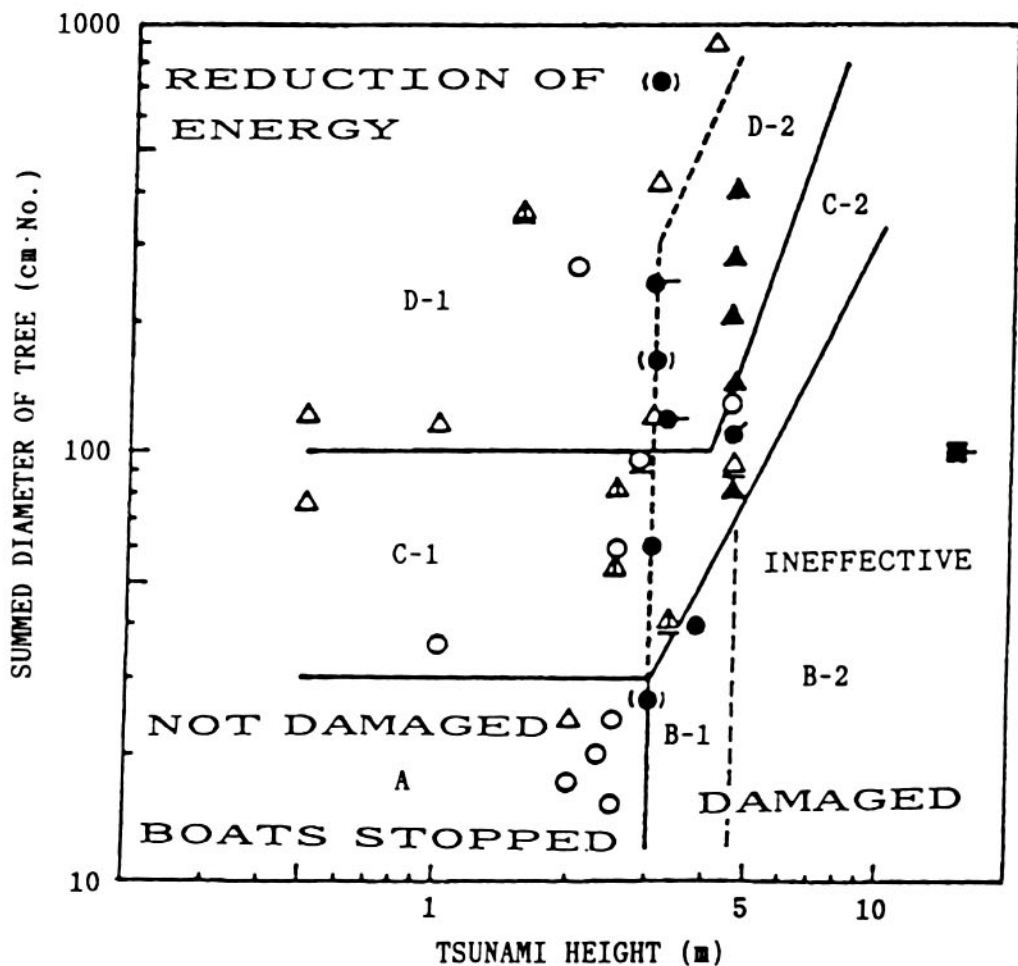


図-11 防潮林の効果。白丸印は主樹木は健全で漂流物を阻止，黒丸印は倒木被害はあるものの漂流物阻止も可能，黒四角印は主樹木折損のため全く無効果，白三角印は流勢を緩和し林帯無被害，黒三角印は流勢を緩和しうるものの林帯にも表土洗掘などの被害，縦線の入った白三角印は流勢を緩和したものの林帯被害については無記述，下線は下生え密生，括弧は林縁部等，横棒は津波高がもっと大きかったと想定されること，斜線は強力な漂流物が集中したこと，等を示す。

- $i = 3$ . どんな場所でも，潮汐に似たような水面上昇下降を示すことはない。第一波が巻き波砕波となる。石造の家も生き残れない。漁船の被害率は100%に達する。殆どの津波防潮林は効果が無い。

木造家屋の集落全体としての被害は打ち上げ高強度によって次のように与えられる。

- $i_R = 1$ . 集落への被害が始まる。  
 $i_R = 2$ . 浸水域内での集落被害率は50%に達する。  
 $i_R = 3$ . 浸水域内での集落被害率は100%となる。

## 9. 終わりに

式(6)で定義される津波強度に基づいて，津波の形態や被害状況を分類した。表-2がその最終的な結果である。但しこれは一応の目安であって，各地点の特殊性によっては，かなり異なる結果となることも考えておかななくてはならない。被害率などは，どちらかといえば起こりやすい方に見積っている。例えば，防潮林の効果では，防潮林幅を使用した資料の平均値に近い20m位を想定しているが，これが50mにでもなるとかなり様子が異なってくる。

対象によっては，資料数が足りないことのために境界が明確には定まっていない。例えば，石造家屋や鉄筋コンクリートの家屋の破壊と生き残りの境界である。今後の資料の蓄積に待たざるを得ない。

津波による被害は，時代とともに変化して行く。沿岸地帯の生活様式，経済性，沿岸の利用方法が変われば，被害の程度や様相まで過去のものとは違ってくるのが普通である。こうした事を考えると，ここで提案したものは単に一つの見方であって，今後折にふれ絶えず修正されて行く必要がある。

謝辞：この研究の一部は文部省科学研究費重点領域研究No.03201109によって行なわれた。

## 引用文献

- Abe, K. (1979) : Size of great earthquakes of 1837—1974 inferred from tsunami data, *J. Geophy* Vol. 84, pp. 1561—1568.
- Ambraseys, N. N. (1962) : Data for the investigation of the seismic sea—waves in the Eastern Mediterranean, *Bull. Seism. Soc. America*, Vol. 52, No. 4, pp. 895—913.
- Dudley, W. C. and M. Lee (1988) : *Tsunami!*, University of Hawaii Press, 132 p.
- Horikawa, K. and N. Shuto (1983) : *Tsunami disasters and protection measures in Japan, Tsunamis—Their Science and Engineering*, K. Iida and T. Iwasaki, eds. Terra Science Publishing Co., pp. 9—22.
- Iida, K. (1963) : Magnitude, energy and generation mechanisms of tsunamis and a catalogue of earthquakes associated with tsunamis, *Proc. of the Tsunami Meetings, 10th Pacific Science Congress*, Honolulu, D. C. Cox, ed. IUGG Monogr. 24, IUGG, Paris, pp. 7—18.
- Lander J. F. and P. A. Lockridge (1989) : *United States Tsunamis 1690—1988*, National Geophysical Data Center, 265 p.
- Nagano, O., F. Imamura and N. Shuto (1991) : A numerical model for far—field tsunamis and its application to predict damages done to aquaculture, *Natural Hazards*, Vol. 4, pp. 235—255.
- Okazaki, S. and T. Sunamura (1991) : Re—examination of breaker—type classification on uniformly inclined laboratory beaches, *J. Coastal Research*, Vol. 7, No.

表-2 津波強度による津波形態と被害程度の分類。

津波強度	0	1	2	3	4	5
津波波高(m)	1	2	4	8	16	32
津波形態						
緩斜面	岸で盛上がる	沖でも水の壁	先端の砕波	第一波巻き波砕波		
急斜面	速い潮汐	第二波砕波	速い潮汐	が増える。		
木造家屋	部分的破壊	全面破壊				
石造家屋		持ちこたえる		全面破壊		
鉄・コンクリ		持ちこたえる				全面破壊
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%		
防潮林	被害軽微 津波軽減	漂流物阻止	部分的被害 漂流物阻止	全面的被害 無効果		
養殖筏	被害発生					
沿岸集落		被害発生	被害率50%	被害率100%		
打上高(m)	1	2	4	8	16	32



- 2, pp. 559—564.
- Platania, G. (1908) : Il maremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908, Bollentino della Societa Sismologica Italiana, Vol. XIII, pp. 369—458.
- Sato, S., F. Imamura and N. Shuto (1989) : Numerical simulation of flooding and damage to houses by the Yoshida River due to Typhoon No. 8610, J. Natural Disaster Science, Vol. 11, No. 2, pp. 1—19.
- Shuto, N. (1991) : Historical changes in characteristics of tsunami disasters, Natural Disaster Reduction and Civil Engineering, JSCE, pp. 77—86.
- Simkin, T. and R. S. Fiske (1983) : Krakatau 1883 ; The Volcanic Eruption and Its Effects. Smithsonian Institution Press, 464p.
- Soloviev, S. L. (1970) : Recurrence of tsunamis in the Pacific, Tsunamis in the Pacific Ocean, W. M. Adams, ed. East—West Center Press, Honolulu, pp. 149—163.
- Urban Regional Research (1982) : Land Management in Tsunami Hazard Areas, 258 p.
- 相田 勇 (1977) : 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, Vol. 52, pp. 441—460.
- 今村明恒 (1942) : 日本津波史, 海洋の科学, 第2巻, pp. 74—80.
- 濱田 稔, 桑田貞一郎, 森 徹 (1934) : 三陸津浪に於ける家屋被害について, 建築雑誌, 第五八十号付録, pp. 833—860.
- 羽鳥徳太郎 (1984) : 津波による家屋の破壊率, 地震研究所彙報, Vol. 59, pp. 433—439.
- 羽鳥徳太郎 (1986) : 津波の規模階級の区分, 地震研究所彙報, Vol. 61, pp. 503—515.
- 佐々木忍 (1960) : チリ地震津波について, 第7回海岸工学講演会講演会, 土木学会, pp. 275—287.
- 笹間一夫 (1934) : 防浪漁村計画 (三陸津浪の被害を論拠として), 建築雑誌, 第五八十号付録, pp. 809—831.
- 佐藤忠男 (1960) : 三重県下におけるチリ地震津波と養殖筏の被害状況, 水産増殖, Vol. 8, pp. 460—464.
- 首藤伸夫 (1985) : 防潮林の津波に対する効果と限界, 海岸工学講演会論文集, 第32巻, pp. 465—469.
- 首藤伸夫 (1986) : 津波被害の変遷, 津波防災実験諸研究報告, 東北大学, 第4号, pp. 1—41.
- 首藤伸夫 (1991) : 近地津波の沿岸での形態について, —記録文書中の表現と対応する波形—, 津波工学研究報告, 東北大学, 第8号, pp. 1—54.
- 首藤伸夫ほか (1986) : 日本海中部地震津波による家屋被害の解析, 土木学会第42回年次学術講演会講演概要, pp. 533—534.
- 辻 芳彦 (1933) : 三陸津浪強震津浪踏査報告, 昭和八年三月三日三陸沖強震及津浪報告, 中央气象台, 驗震時報, 第7巻, 第二報, p. 181.

付録1 Ambrasseys (1962) による改良  
Sieberg 津波強度

Modified Sieberg Seismic Sea-Wave  
Intensity Scale

i . Very light. Wave so weak as to be perceptible only on tide-gauge records.

ii . Light. Wave noticed by those living along the shore and familiar with the sea.

iii . Rather strong. Generally noticed. Flooding of gently sloping coasts. Light sailing vessels carried away on shore. Slight damage to light structures situated near the coast. In estuaries reversal of the river flow for some distance upstream.

iv . Strong. Flooding of the shore to some depth. Light scouring on man-made ground. Embankments and dikes damaged. Light structures near the coast damaged. Solid structures on the coast injured. Big sailing vessels and small ships drifted inland or carried out to sea. Coasts littered with floating debris.

v . Very strong. General flooding of the shore to some depth. Quay-walls and solid structures near the sea damaged. Light structures destroyed. Severe scouring of cultivated land and littering of the coast with floating items and sea animals. With the exception of big ships all other type of vessels carried inland or out to sea. Big bores in estuary rivers. Harbour works damaged. People drowned. Wave accompanied by strong roar.

vi . Disastrous. Partial or complete destruction of man-made structures for some distance from the shore. Flooding of coasts to great depths. Big ships severely damaged. Trees uprooted or broken. Many casualties.

Ambrasseys, N. N. : Data for the investigation of the seismic sea-waves in the Eastern Mediterranean, Bull. Seismological Soc. Am., Vol. 52, No. 4, pp. 895-913, 1962.

## 付録一 2 個々の家屋被害

各文献より関連箇所を転載した。なお、  
[ ] 書きは筆者の注記である。

(1) 笹間一夫：防浪漁村計画（三陸津浪の被害を論拠として）建築雑誌第五八〇号付録 pp. 809-831, 昭和九年。

### 6. 防浪建築

防浪建築とは、耐浪建築の消極的なるに反して、積極的に津浪を防がんとする意味を持たせた新造語であって、防浪或は耐浪建築と云ふも、今迄のところ、耐震耐火建築と具体的に異った点を発見する事が出来ず、又特殊の研究も行なはれて居ない。それで周囲の建築物が津浪の被害を被って居るにも不関、被害を被らなかつた建築物を被害地に採取し、これに依つて如何なる構造が耐浪的であるかを明にし、進んで防浪建築の研究が始められるわけである。

防浪建築は先づ第一に耐震耐火建築でなければならぬ。耐火建築でなければ真の耐震建築でないとはよく云はれるところであるが、津浪は大抵の場合地震を伴ひ、地震は往々火事を伴ふ。

今度の津浪でも、強震に関する地震あり、それに続いて釜石、田老では火災を起した。

#### 木造

木造の建築物は、その構造が柔式であらうと剛式であらうと、和風であらうと、洋風であらうと、防浪建築と云ふ事は全く許されない。三陸地方の漁村の家屋は、極めて貧弱なる種類のものの一つで、最近建てられた少数を除けば、耐震の考慮も払れて居らず、耐浪の考慮は全然ない。

最も被害の甚しかった田老村の木造家屋の被害は表5の如くである。

第五表 田老村に於る木造家屋の被害統計

被害状況	戸数（全戸数500戸の内）
小屋組のみ残る	24
二階のみ残る	5 内新築のもの3
再使用可能	8 内新築のもの6
無被害	18 内高台にありしもの6

土台を基礎に緊結する事は、徐々に浸水せる場合に於ては、多少有効であるが津浪の運動エネルギーの大なるところ、或は船、浮遊残物との衝突があるところでは、殆どその効果はない様である。大抵は柱が土台から抜けるか、金具で補強されて居るときには、柱の下端が折れて、家屋の上部は流失してしまふ。基礎、土台自身も、田老村の如く津浪の勢力激しく、地面が砂であるところでは、半分位流されてしまつて、海岸を離れ、津浪の勢力が減じ、地面の硬くなるに従ひ、基礎、土台の残つたものが次第に多くなる。

#### 土蔵

土蔵は木造よりも強い。被害地に存在した土蔵の大部分は、津浪後といへども原形を保ち、浪に移動したと云ふ様なものは少い。然しながら、元来土蔵は土で造られたものであるから、水に弱く、外壁が崩れおち、或は船及び浮遊残物との衝突によって一部分破壊し、内部も浸水に依り再び使用に耐えぬと思はれるものも少くない。

#### 石造

三陸地方には、塩釜石を銕接にした倉庫が多いのであるが、何れも破壊を免れて居る。唯扉は鉄のものは安全であるが木のものは破壊する。

今度の結果のみよりすれば、石造は耐浪建築の部に入るかも知れないが、地震を考慮に入れるとき、これを防浪建築として推薦する事は出来ない。

## 煉瓦造

鉄骨煉瓦造の建築は釜石に二つあるが、何れも無事であった。

## 写真第8

大洋製氷会社、釜石町海岸通りに存在せる鉄骨一部木骨煉瓦の大建築。浸水12尺に及びしが破壊せず。但し庇扉等破壊せり。

## 鉄筋コンクリート造

鉄筋コンクリート造りのものは辛うじて二つ発見する事が出来たが、両方共構造部分には些の被害なく、唯若干の浸水を見ただけである。(写真9, 写真10)

何れも鉄筋コンクリート建築物としては規模の小なるもので、開口面積小さく、スチールシャッター、スチールドアアを使用して居たため、浮遊残物と衝突しても些の破損もなかった。

松蔵屋の倉庫は、これを中心とした3-4軒の木造家屋を救ひ、防浪的作用をなした。又古峰丸待合所の方も、付近は火災に依り焼失したのであるが、この建築が耐火的であったため、これより先は焼失を免れた。写真第10に示した建築の左上端が燻ぶって居るのは、この事情を語るものである。

鉄筋コンクリート建築は僅かこの二例のみではあるが、耐震耐火耐浪的で、しかも松蔵屋の如きは防浪的作用をも営んで居る。防浪建築の発展はこの辺に始まるのではあるまいか。

## 写真第9

松蔵屋倉庫、山田町に存在せる鉄筋コンクリート倉庫、海岸より約100mの商店街に在り、浸水せるのみで全く破壊せず、後ろの木造商店を破壊より救った。

## 写真第10

古峰丸待合所、釜石町海岸通りに存在せる鉄筋コンクリート建築。地震、火事、津浪に

依る被害全くなし。

(2) 濱田 稔, 桑田貞一郎, 森 徹: 三陸津浪に於ける家屋被害について, 建築雑誌第五八〇号付録 pp. 833-860, 昭和九年。

## 第4章 津浪による家屋被害の特性及びその実例

### 1. 津浪による家屋被害の特性

津浪による家屋被害の状態は大体に於て、

- i. 浸水
- ii. 部分的破壊 (半潰)
- iii. 全潰
- iv. 流失

に分ける事が出来る。浸水は通常の降雨による増水の場合と殆ど同様である。只週期の小なる数回の増水で相当に速度を有する為に、浮遊した物品が衝突によって多少の破壊を生ぜしめるが概して被害は軽微である。次の部分的破壊は津浪による被害状況の最も特徴とする処である。即ち津浪による被害を見るに地震の場合の如く家屋が全体的に傾いたり、回転又は移動したりする様な例は極めて少い。故に若し斯る大津浪が此の地方の如く良好な地盤を有っていない地方に襲来して地震に依って蒙った被害の家屋とが混交、紛はしき状態にある場合でもその原因を何れと判別し得るだらう。即ち津浪の襲来と共に付近に停泊中の船舶その他の浮遊物が漂流して之が家屋に激しく衝突しその一部をもぎ取る様に破壊するのであって此の場合は家屋の他の部分には影響を及ぼす程度が少なく全く衝撃力による破壊の特徴を示すのである。被害地方に於ける流失を免れた家屋には此の種の特徴ある破壊が夥しい。第三の全潰と第四の流失とは殆ど常に同時に来るもので全潰して流失を免れたる例は極めて少く、又若し屋根軸部等は流失を免れたとするも構造体の一部又は諸道具等の部分的流失は必ず付随するものである。全潰流失は前章調査表に表はれた数字の如く今回の津浪に於いても相当多数に上り、将来この轍を再び踏まざるの計を樹つるには実例に徴して深く研究すべき問題である。

次に災害地方より得た家屋破壊の写真を舉げその地理的及構造学的原因を研究して見る。

## 2. 被害实例

(1) 津浪に於ける浮遊物の衝突による建物被害の軽微な場合、即ち極めて部分的に破壊を起こす事の一例。陸前本吉郡唐桑村小鯖所在の民家にして本図に於ける下見板の破損以外は無被害。

(2) 部分的に壁を破壊された一例。数回押寄せた津浪の為に屋内の器具類の浮遊したものが反復衝突して壁の一部を突き破ったもの。この家は第二階の床近く迄浸水したにも係らず流失を免れたのは、軸組の比較的堅固に出来て居ったのと、土台を布コンクリートに緊結してあった為と思はれる。

(3) 陸前本吉郡唐桑村只越の一民家の例。隅柱に漂流物の衝突。

(4) 陸前桃生郡十五浜村雄勝村役場に隣接した民家で、大なる漂流物の衝突に因り前面の柱列を折砕された為の前のめりに倒壊したもの。

(6) 釜石栈橋付近民家の煉瓦塀にその付近に堆積してあった40cm角長さ2-5mの夥しい木材が津浪と共に漂流押寄せた為のその衝突によって倒壊したもの。その余勢はこの前面に立並ぶ数棟の家屋をも流失せしめた。煉瓦壁は厚1. B高さ2.2m約2m置きに控壁を付してあった。

(7) 漂流物の衝突に因る部分的破壊の例。その一階は前部吹抜きとなった。上部の壁の穴は船の舳などが撃突したものと思はれる。雄勝の例。

(9) 前同様家屋の部分的破壊。家の角に漂流物が衝突して、その部分を全部流失して了った例。

(11) 釜石町、煉瓦塀の倒壊に因り家屋が所謂将棋倒しの状態に倒壊流失したる例。中央に建つ土蔵風の家屋は木造ラス張モルタル塗の新築家屋にして特筆すべき構造上の長所を有していないがその新しい事と、塀に接近して建てられていた事等に因って比較的衝撃に

耐へ得たものと見られる。新築家屋が腐朽その他の弱点なくその為め厄を免れたと見るべきものは数例あった。(15) 図は将棋倒しの状態を示した見取り平面図である[ここの浸水高は2mとの見取図あり]。

(15) (12) と同じ例。[流された家の配置図]。

(16) (15) 図の左上部○印の家で部分的破壊の一例である。前掲将棋倒しの厄に遇って隅の通し柱及其の付近を抜かれ、上下階共隅の部分が持はなしとなり、他の部分の構造が比較的丈夫であった為め辛くも倒壊を免れたものである。この辺の将棋倒しは、その海岸に向かった方向に栈橋用木材が夥しく堆積してあったものが津浪の襲来と共に漂流し偉大なる衝撃力となって煉瓦壁を破壊し、家屋を倒壊しそれ等の破片を合して増々暴威をふるったもので、後出の別例にも見るが如く一般に家屋の付近に多量の漂流材料の置かれてある場合には致命的な損害を蒙っている。

(19) 釜石町の或る倉庫。船の衝突に因りその壁面が大破した。

(20) 釜石町民家に漂流した船体が衝突して家屋の一面に大穴を開けた状況。

(21) 宮古町嶽々崎海岸通り。ある商店に船体が衝突して部分的破壊を生じた一例。此の家は岸から10m位の距離にあり、浸水の高さも1.2m位であるのより考へればこの船は単に陸に上りたるのみのことで左程強い衝突もなかったもの様であり、家の破壊も比較的軽微であった。

(22) 陸中上閉伊郡大槌町の一例。海岸より500m位距った映画常設館でこの付近は悉く家屋倒壊、流失したにも係らずこの建物はその前面に大破を来したのみで喰い止め得たものである。地勢から見てもこの辺りは水勢猛烈、相当の速度を以て斯る大形船体の衝突したものであるが、此の家は外觀きわめて粗末なれ共その軸組は相当に頑丈なる、所謂耐震的手法のものであった関係で一部分は甚だしき破壊を受けたが倒壊流失を免れたものと見

るべきである〔(23) (24) (25) に内部写真、軸組のスケッチあり〕。

(28) 今回災害を蒙った地方には甚だ稀なる鉄筋コンクリート造家屋がある。釜石港に面し海岸から約10mの海岸通に並ぶ家の一にしてこの辺は津浪による流失家屋相当に多く、又残ったものは火災の為に焼失した地域である。本建築は夫等被害家屋の間において殆ど無被害。近代建築技術の精華を示したの観がある。本建築の背後にあって津浪の暴威よりのがれ得た木造家屋群はその後に来た火災によって類焼し、この家もその木造部分を失ったが間仕切のシャッター奏功して火災の厄よりも逃れることが出来た。

(31) 陸前本吉郡小鯖の民家。この部落は全戸数80戸の内倒壊流失せるもの50戸にして被害激甚であった。この家は付近のものに比して特筆すべき構造上の長所は無く而もこの付近の僅か四五軒の家屋が被害の中心地にあるにも係らず倒壊流失を免れたのは、背面に接近して山があり、その両脇が深く沢となっているためこの部分の水勢が弱かったと観られるものである。背後に接して山を有している場所で倒壊流失を免れた例は多々あった。

この家の浸水は壁の剝落により明かに約2mであり、若し水勢猛烈ならば流失の厄に遇ったものと考へられる。

(34) 陸前桃生郡十五濱村雄勝、海岸通りの民家にして浸水土台約1.1m相当古き家なれどもその背後に山があり二つの沢の中央となっているため水勢稍弱かった場所と見られ、尚この部分は略図に示す如く少く地盤高く浸水の度小なりし事も与って力ありしものと見られる。時に半米の高低差も家を危地より救ふ事がある。

(37) 釜石町。神社の火災は津浪後であり、斯の如き大なる船体が社に衝突せば倒壊したるものと思はれる。船体を喰止めたのはその間に見える並木と社を繞って立てられたる玉垣とに因るものと考へられる。並木、柵などが漂流物を喰止めた事例は多い。

(39) 写真中央に見える家は木造屋根トタン葺一部中二階を有する簡単な構造の穀物挽き屋で海に向って裏側に並木を植えてあった。此家の後方は遠く沢となり激しく津浪の押寄せた地域と思はれたる場所であるにも係らず近隣悉く流失の中に唯一軒残留し得たのはこの裏側の並木により激しく沢の深部より退波に乗って来た漂流物の衝突を防ぎ得たものと観るより外なく並木の効果の偉大さを物語る一例である。特に略図に示す如くその右翼の一部が倒れ、その部分の家屋の隅に破壊箇所があるのは明かに並木の防ぎ得ない程度の龐大な漂流物が来た事を意味しているもので家屋の破片その他の漂流物を防ぎ倒壊流失を免れしむ簡単な手段としては家屋の前後に植樹することは良法である。

(41) 陸前本吉郡唐桑村宿。建物は極めて簡単な平家住宅で浸水約2mに達しているが後方にある一列の植樹によって退潮時の流失を免れたものと思はれる例である。この家のために略図の如く海岸に至る数軒の民家も流失を免れることが出来た。

(45) 釜石町民家。甚だ軽量であったために浸水と共に浮遊して流れ出した家。この辺りは浸水1m前後で而も緩慢な増水であったので若し土台を少しでも基礎に締付けてあれば斯様なことはなかったと見てよい。

(46) 雄勝所在民家。浸水により家屋が浮き上がり、土台はボルト締にしてあったために柱の柄が抜けた例。土台を布コンクリートに緊結すべきを示している。

(47) 陸前本吉郡唐桑村宿所在民家土蔵にして海岸より約150m距りたる場所にあり、漂流物の衝突に因り下半部を大破され屋内に浸水したるものである。しかし土蔵は重量の大なる為に流失しない。

(48) 釜石町某土蔵。海岸より150m位の位置にあり付近の家屋が流失又は類焼したる間にありてその災厄を免れたものである。前例と共に土蔵が比較的耐津浪的に良好なるを示すものである。本土蔵はその屋根も外壁同様に

仕上げその上に雨除けとして簡単なる鉄板葺屋根を置きたる構造で、漂流物の衝突の爲め屋根が回転したものである。白壁に印せる浪跡は高さ2.2mあり。

(53) 宮古町に於て甚だしく被害を受けた唯一の場所で、河口近くにあり。河の上流との関係は写真で見る様な場所である。

(54) 前例の部分に建っていた染谷製材所の流失跡にして、石造蔵を二棟残して他は全部流失したものでこの部分は恐らく激しき廻し波を蒙りたるものと考へられ、加ふるに

(56) 写真(津浪前)に見る如く、この工場前の棧橋には不断多量の製材々料が堆積されてあって之が漂流物としての偉力を発揮したものである。

(57) 釜石町某旅館の門柱に印せる津浪の跡はその玄関内部に印せるものより著しく高かった。之は家の周囲に高さ煉瓦塀があり、又各出入口の扉が相当に丈夫なものであった為め水は内部に浸水する暇なく退却したのに因るものである。或る程度の距離と高さとを有する場所に迄備ひ寄せた津浪は既に非常に勢力を減じ、而も寸時にして退却するもので浸水の被害は降雨による出水より遙かに被害の少ないこともある。[写真には、門柱に高さ80cm、内部高さ15cmの書き込みあり]。

(61) 陸前桃生郡雄勝部落の最東端に位する建物で前面約10mの所に石垣があり湾に向つて建ち付近流失家屋の夥しき間に厄を免れたもので、住宅の方(向つて左)は殆んど無被害、工場の方(向つて右)は壁を大破したが流失を免れ得たのである。之は軸組構造に相当の注意を払つてあり、土台を布コンクリートにボールと締めであった為め、この事はこの地方(地盤良好にして地震のみの被害は寧ろ軽微である)に建てらるべき将来の建築に絶対必要なことと認めるものである。

## 第5章 耐津浪家屋要綱

以上の調査によつて耐津浪家屋要綱なるものを草した。本章を以て本調査の結論となす。

## I. 家屋被害概説

1. 外力の性状 津浪の際に家屋の受くる外力は海水のみの作用と漂流物による衝撃力との2種とす。

2. 海水のみの作用 家屋は浸水によりて重量が減じ、之に海水の流動による横力を受くるを以て、浸水高の増加と共に急激に流失の危険性を増す。而して土台と基礎との緊結なき構造法による木造平家建住宅は浸水2mを越ゆる場合に耐ゆるもの尠なし。

3. 漂流物による衝撃 船舶、製材用の丸太類、其他の漂流物は家屋に激突して衝撃的な破壊を招く。又一家屋の流失は漂流物を増して所謂将棋倒しの原因となる。本影響は前項の作用と異なり浸水程度僅かに1mに及ばざる場合にも軸部の損傷を来し、崩壊流失に到る例尠なからず。

## II. 敷地

4. 高所を選ぶべきこと 津浪の被害は高所に到らざるを以て、家屋の敷地を低地より高地に移すことによりて完全に災害をまぬがる。これ津浪が地震等と異なる根本的事項なり。

海岸に住するものは多く漁夫にして高所に住することの不便なるは勿論なれども、災害の根本的防止は之れに勝るものなし。

5. 高さの程度 敷地として安全なる高さは各地方の古来の浪跡高の記録によりて標準を樹つるの他途なかるべし。記録に残る最高浪跡高は常時水面より24mなれば多くの地にてはこれ以下と知るべし。

6. 地形 湾形に就きてはV字形、湾口の状態に就きてはその左右断崖からなるもの等の奥地は浪高異常に高くなるもの故住居地としては寧ろ不適なり。

7. 裏山 家屋の背後に接近して小山を負ふ敷地は特に廻し波となる地形ならざる限り有効なり。

8. 高さ1mにても有効なることあり 已むを得ず海岸に近く建築するが如き場合には敷地の高さ僅か1mにても極めて有効なることあり。之れ津浪は常に巨大とは限らず2-3

mなる場合も多く、斯様な場合には敷地高1 mの差は流失の有無を左右す。

### Ⅲ. 被害軽減の施設

9. 防波堤 防波堤の有効なるは論を俟たざれども其の位置に就きては十分なる注意を要す。即ち各部落に於ける津浪の襲来方向は特性を有することもあるを以て防波堤の位置は之れを遮ぎるに有効なるを期すべし。

10. 防波林及防波柵 海岸線と部落との中間に防波帯を設くることは碇泊中の大なる船舶の流入を防ぐ点に極めて有効なり。尚此の種の防波林は防風の施設としても極めて有効なり。

11. 植樹 各家屋の海岸線に平行なる二側面に接して丈夫なる樹木を相当密に植樹することは浮流物の激突を避くる点に於て特に有効なり。

之等10., 11. は特に漁村に於て比較的実施し易き施設ならん。

### Ⅳ. 耐津浪家屋構造概説

12. 要項 已むを得ず不利なる地形に家屋を建築し、又被害軽減の施設十分ならざる時はその家屋の重量大にして且つ大地との緊結十分なるものは移動し難き故に津浪に対して強し。されど重量の大なるものは地震に弱きことあるを以て注意すべし。

軸部構造は浮流物衝撃に耐ゆるべく堅牢なるを要す。

13. 石造・煉瓦造・土蔵造 之等は重量大なる故に流失をまぬがれたる例多けれ共、元来地震に対して脆弱なる故に好ましからず。

14. 木造 木造家屋を完全に耐津浪的となすこと困難なりと謂へ共、或程度の目的を達すことは比較的容易にして、漁村に対しては實際上最も緊要なることと思はる。故に更にⅤ. に於て詳説すべし。

15. 鉄筋コンクリート造 鉄筋コンクリート造は耐津浪構造として最良なるのみならず、津浪に先んずる地震にも耐へ、又之れに続く火災にも耐ゆる唯一の構造法なり。

### Ⅴ. 耐津浪木造家屋詳説

16. 土台と基礎との緊結 基礎は必ずコンクリートを以て十分深く連続的に造り、土台は之れに埋込ボルトを以て緊結すべし。而して玉石・割栗の類をならべ、之れに土台を単に載せたるものは絶対に避くべし。

之れ家屋の浮動を防ぐに極めて重要な事項なり。

17. 軸部に対する注意 軸部を耐津浪的ならしむる為には従来の耐震的手法によるべし。即ち筋違・方杖・燧材等の使用、鉄物による継手仕口の補強を励行すべし。之等に就きては震災予防評議会より発表されたる「家屋新築及修理に関する耐震構造上の注意書」に詳らかなる故ここに省略す。尚壁体の補強は海岸線に直角方向に於て特に必要なり。(昭和8年5月29日受理)

(3) 辻 芳彦：三陸津波強震津浪踏査報告，昭和八年三月三日三陸沖強震及津浪報告，中央气象台，驗震時報第7卷第二報，p.181，昭和八年。

大槌湾の南一軒を隔てたる岸壁にある三陸汽船事務所は堅固な洋館なりし為め、津浪の襲来を受けたるも硝子窓若しくは建物の角々に多少の損傷を見らるのみ、床上四尺位の浸水なり。p.181

(4) Simkin, p. and R. S. Fiske : Krakatau 1883, The Volcanic Eruption and Its Effects, Smithsonian Institution Press, 464p., 1983.

#### Anjerの灯台

The first wave described in these accounts was not the largest to hit Anjer that morning, but the accounts vividly explain why there were few witnesses to the later waves. Tenison—Woods discusses a second wave :



At 9 o'clock another tidal wave struck the coast. It was far higher than the first. From the mischief done at the Government quarry at the Island of Merak the water must have reached the almost incredible height of 180 ft (later estimates were 135 ft and less). Anjer, and every trace of animal and vegetable life along the coast, was completely washed away. Nothing is known of the details. A telegraph operator sent to repair the line towards Anjer reported that as he approached the coast, at about 9 a. m., he had seen the ocean advancing like an enormous rampart of water, and that he had fled to the high ground. He knew nothing more except that he had heard an awful roaring noise as the sea struck the land, but he believed that Anjer and all the coast towns and villages were destroyed. (p. 74).

The Fourth Point lighthouse, just south of Anjer, did survive the first wave, however. It was seen standing by a ship that passed at 8 : 30 that morning (see p. 103) although there were no signs of life at Anjer. Captain van Doorn, an early visitor to the devastated area, reports.

It was a dreadful narrative which was related to us by a native, a lighthouse-keeper of Fourth Point, one of the few men at the lighthouse, who by a wonder was saved.

When the wave approached, all fled to the tower (the light was 46m above the sea), which, though shaking, resisted the violent waves for a long time. It was a terrible moment, when at last an enormous rock, which was swept away by the stream, crushed the base of the tower, which then fell down. (p. 76).

The first accounts carry on the reports

from the Sumatra coast, as the Governor General Loudon passed much of the eruption in Lampong Bay near Telok Betong. This ship, a 1239 ton government mail steamer based at Batavia, was the largest of the group recorded here, and the only one permanently based in the area.

The first of three accunts from the Loudon is by her Captain, T. H. Lindemann,-----

We also perceived that the lighthouse on Java's Fourth Point was entirely washed away ; nothing remaining except a stump some feet high. (p. 92).

-----

However, it remains for a passenger aboard the Loudon, the Public Works Engineer N. H. van Sandick, to give the most graphic account of that ship's remarkable adventure.-----

On Aug. 26, 1883,-----

In the afternoon at 3 o'clock the Loudon dropped anchor in the road—stead of Anjer. There 100 Bantammers, which were hired as coolies for the building of a lighthouse on the island of Bodjo (off the west coast of central Sumatra), came aboard. The weather then was beautiful. The white plastered houses of Anjer glittered in the sunshine near the seashore, in the background the mountains, and in front of it the deep blue sea. Clearly the lighthouse of Java's Fourth Point silhouetted itself against the sky.-----(pp. 92-93).

Again we anchored in the roads of Anjer, not even two days after our departure on the 26th. But Anjer is no more —it had been wiped away, no trace, no stone can be seen any more. Only one stump, the stone foundation of the earlier existing lighthouse on Java's Fourth Point, remains.

It is the only cemetery monument contrasting with the gray color of the tremendous burial ground, which appeared before our eyes from the deck of the Loudon. The spot, which earlier showed thriving kampongs (villages) and a European settlement, had become an even, gray plain. The river of Anjer was completely filled with mud ; not even a ruin remained ; everything was wiped away and leveled to the ground. A more complete destruction is unthinkable. A few leafless trees, also ash gray in color, stuck out above the plain. (p. 96).

-----  
Further north, the Annerly was approaching the Straits, and Captain Strachan later reported to the ship's owners.-----  
--

A storm of tidal wave had swept the coast, carrying everything before it. Anjer and its lighthouse were gone, a small portion of the foundation only standing.-----  
---

The Governor of Bantam also mentions only one wave, in an official report, which would have destroyed Anjer at approximately 6 o'clock in the morning. It is certain that the big wave of 10 o'clock did not find anything left in Anjer but the fort, the fail, the house of the Patih and that of the Wedana ; probably also the lighthouse on Java's Fourth Point, because it had not been toppled by the wave of 6 o'clock according to the story of the wife of the lighthouse keeper Schuit, although it shook and trembled. The lighthouse is said to have been ruined at 9 o'clock (most likely have been after 10 o'clock).

The whole flat terrain around Anjer, which is about 1,000 m wide right behind

the place, seemed shaven ; close to the waterline enormous blocks of coral were thrown on the beach ; the largest block lies close to the old lighthouse and has a volume of 300 m<sup>3</sup>. The coastline from Merak to here and farther south to Tjaringin has hardly changed ; of the capital Anjer, only a portion was washed away, as is shown on the new map of the Bantam coast. [p. 205. Verbeekの報告中]

#### Merakの西洋式家屋

Fumeaux adds more information about Merak :

One European and one native only survived at Merak. Twenty—seven hundred of its inhabitants died, including thirteen Europeans, among whom were K. A. Naumann and his wife, Overseer H. B. van Diest and his wife, Overseer J. Kaal, Machinist S. C. van Essen, his wife and four children, Storekeeper T. S. Townsend and his child.

The story of their deaths is one of the strangest of the whole disaster, for they were sheltered on top of the hill behind the town. It was 130 ft high, yet the great wave roared up its slopes and destroyed all the stone—built European houses on its top, leaving only the foundation of Naumann's house. (Another account gives the hill height as 115 ft and the wave as 135 ft, or 41 m, above sea level.) Works Accountant E. Peckler saw the wave coming. He ran further up the hill, the wave gaining upon him. He fell exhausted, expecting to be engulfed. Looking back he saw the wave rushing towards him. Heaving himself up, he ran further, falling on his knees and losing consciousness. When he

It is the only cemetery monument contrasting with the gray color of the tremendous burial ground, which appeared before our eyes from the deck of the Loudon. The spot, which earlier showed thriving kampongs (villages) and a European settlement, had become an even, gray plain. The river of Anjer was completely filled with mud ; not even a ruin remained ; everything was wiped away and leveled to the ground. A more complete destruction is unthinkable. A few leafless trees, also ash gray in color, stuck out above the plain. (p. 96).

-----  
Further north, the Annerly was approaching the Straits, and Captain Strachan later reported to the ship's owners.-----  
--

A storm of tidal wave had swept the coast, carrying everything before it. Anjer and its lighthouse were gone, a small portion of the foundation only standing.-----  
---

The Governor of Bantam also mentions only one wave, in an official report, which would have destroyed Anjer at approximately 6 o'clock in the morning. It is certain that the big wave of 10 o'clock did not find anything left in Anjer but the fort, the fail, the house of the Patih and that of the Wedana ; probably also the lighthouse on Java's Fourth Point, because it had not been toppled by the wave of 6 o'clock according to the story of the wife of the lighthouse keeper Schuit, although it shook and trembled. The lighthouse is said to have been ruined at 9 o'clock (most likely have been after 10 o'clock).

The whole flat terrain around Anjer, which is about 1,000 m wide right behind

the place, seemed shaven ; close to the waterline enormous blocks of coral were thrown on the beach ; the largest block lies close to the old lighthouse and has a volume of 300 m<sup>3</sup>. The coastline from Merak to here and farther south to Tjaringin has hardly changed ; of the capital Anjer, only a portion was washed away, as is shown on the new map of the Bantam coast. [p. 205. Verbeekの報告中]

#### Merakの西洋式家屋

Fumeaux adds more information about Merak :

One European and one native only survived at Merak. Twenty—seven hundred of its inhabitants died, including thirteen Europeans, among whom were K. A. Naumann and his wife, Overseer H. B. van Diest and his wife, Overseer J. Kaal, Machinist S. C. van Essen, his wife and four children, Storekeeper T. S. Townsend and his child.

The story of their deaths is one of the strangest of the whole disaster, for they were sheltered on top of the hill behind the town. It was 130 ft high, yet the great wave roared up its slopes and destroyed all the stone—built European houses on its top, leaving only the foundation of Naumann's house. (Another account gives the hill height as 115 ft and the wave as 135 ft, or 41 m, above sea level.) Works Accountant E. Peckler saw the wave coming. He ran further up the hill, the wave gaining upon him. He fell exhausted, expecting to be engulfed. Looking back he saw the wave rushing towards him. Heaving himself up, he ran further, falling on his knees and losing consciousness. When he

regained his senses, he saw the wave receding. All the houses were gone. Engineer Abell also saw the wave. He left Merak at 7 : 30 that morning to report to his chief in Batavia. Looking back from the mountain road, he saw "a colossal wave" roaring up the shore. It was higher than the highest coconut palm, he recalled later. No one in its path could have survived, he told his chief. The wall of water rushed over the land, looking like something he could not have "dreamed in a nightmare." (p. 77).

Merak での他の家 [Verbeek の報告中にあり]

The following died in Merak : — — — — —  
— The engineer Nieuwenhuijs had left for Batavia on the 25th and thanks his life to this departure.

When engineer Nieuwenhuijs arrived on the morning of the 28th, he found nothing left of the earlier homes and work places ; even his house, situated on a 14 m high hill, was washed away ; only the cement floor was left. A locomotive was found completely bent out of shape 500 m away from its stand, and the rails were torn from their sleepers and bent like ribbons. Only 1 body was found then ; the receding sea seemed to have taken along all victims. Several bodies were seen floating, washed ashore some days later, and were immediately buried. The height the sea reached was an average of 30 m according to him ; the entire flat sea coast south of Merak was destroyed to the hills as far as one could see. One may compare this with the map, Figure 15 (see p. 76) (p. 205).

#### Philip Neale の報告

Passing on, we came at length to the little hill close to the ocean, on which, as before mentioned, the Dutch pilot had erected his temporary canvas home. Ascending it, we had a good view of the surrounding country. As far as the eye could reach there was the same sad scene of desolation and ruin. There too rolled the peaceful ocean, with its placid waves glittering in the dazzling sunshine. It was very hard to realise as the waters broke so gently upon the shore beneath that such a dreadful element of destruction could have risen so recently from their quiet depths. It was on this hill overlooking the sea at Merak that we were able to form a correct idea of the height of the volcanic wave when it first broke upon the Java coast, and this is how we came to our conclusion that the wave must have been at least 120 ft high. (McColl places the wave height at 135 ft, or 41 m.) The ground on which we were standing was more than 100 ft above the sea level, and on the highest part of it had been erected a large brick house, occupied by the resident engineer connected with the quarries. It was very strongly built, as European houses in the tropics always are, with good solid foundations, and yet, although more than a hundred feet above the sea, this massive dwelling had been completely razed to the ground by the passing wave. The walls had been washed away as neatly as if they had been sliced off with a knife, and nothing remained standing but the brick and marble floors, which rested on the strong foundation. There were marks on each side of the hill showing how the resistless torrent of water had escaped down the slope, bearing the

ruined house and its contents far away. (p. 123).

#### Benkoelenの灯台 [Verbeekの報告]

Plate 5A (Verbeek's plate 20). Now in our mind we continue our journey further south, but first passing around Krakatau itself.

Semenga Bay also suffered significantly from the waves. Beneawang itself, the post of the Controller at the north end of the bay, and the flat strip at the mouths of the Semangka river were totally destroyed. The vegetation was ruined almost completely by the ash and mud rain, but less mud fell on this side than to the north of the volcano.

The SE side of the large island Tabuan suffered most from the waves. The N and W half sustained a lot less damage, and fortunately the campongs were located on this side ; most trees were leafless from the ash rain. In October I tried in vain to visit Poeti and the places further north, but the bay was already filled with pumice at a short distance from Tabuan, rendering a further penetration impossible. We therefore tried a western direction, visited first Tampang, the campong already mentioned in the description of Plate 5B, then continuing south of Vlakken Hoek to the Blimbing Bay.

Close to this place on Sumatra's SW corner stands a fine iron lighthouse built in 1880 ; 60 m high and a first-class light! Around the tower stood a building made of iron and stone, which vanished without a trace. The wave washed with great power over the flat southern portion of the peninsula and leaped 15 m high against the tower. Fortunately the tower itself remained almost completely undamaged (see Plate

5A), but in the dense forest, between the tower and the campong Blimbing, such damage was done as one seldom sees ; trees all over, among which were found iron parts of the building and bodies of the workers here and there, forming a chaos beyond description.

As one can see on the illustration, the trees which are still standing are totally leafless, nonetheless, this point is already 103 km from Krakatau. (pp. 175-176).

Plate 6A (Verbeek's plate 23). From the mooring place a very good road used to run in earlier days along the beach to the picturesque stone lighthouse, situated on a 40 m-high rock, also a first-class light.

The lighthouse had been higher before, but it was damaged so severely by the earthquake of September 1, 1880, that the top part had to be demolished.

The green, which is visible in Plate 6A, developed largely in the two months between August 27 and October 21 ; after the eruption not everything in the forest was leafless, but nonetheless a good part of it was.

Especially the leaves of the banana trees developed with exceptional speed after the abundant rainfall.

#### 同じく Verbeekの報告

We continue our journey along the coast to Blakken Hoek and arrive in the territory of the Residency Benkoelen. The beautiful iron lighthouse withstood the force of the waves, although the water reached 15 m high against the tower ; but the surrounding iron and stone buildings all disappeared (see Plate 5A) ; the wave rushed over the

flat terrain at the lighthouse to the cam-  
pings Laboean—Blimbing and Blimbing on  
Blimbing Bay and partly destroyed them,  
causing 34 people to lose their lives. In  
October I found the forest to be a chaos of  
fallen and broken trees ; at quite a distance  
from the lighthouse iron pieces of the  
establishment and bodies of convicts (who  
had been working at the lighthouse) were  
found.

The lighthouse keeper F. Hamwijk—  
told me the following,———  
On the morning of the 27th———At 10 :  
30 the big wave rolled in, which took  
everything with it except the lighthouse  
tower. Mr. Hamwijk was trapped under the  
kitchen which had collapsed ; he struggled  
free and fled to the lighthouse tower. The  
water rose and fell 3 times, and he seems  
to remember that this happened in not  
more than 1/2 hour. (p. 212).

#### 他の灯台

The information from the island of  
Noordwachter (145 km NE of Krakatau) by  
the lighthouse keeper H. van de Meulen is  
somewhat uncertain, because he was just in  
the process of stocking the lighthouse with  
food and water when the water reached its  
highest level. He reports that this happened  
at 11:30 in the morning on the 27th, but it  
could have been somewhat later (probably  
at 12 o'clock). The water flooded the entire  
island and also the lighthouse ; the rise was  
2.59 m. As he started to fall between 10  
and 11 o'clock and continued till 4, and the  
light had to be lit at 12 o'clock. [ pp.  
214—215, Verbeek の報告 ].

[註 当時の鉄製の灯台については、付録  
— 3 の参考資料参照.]

(5) Giovanni Platania : Il maremoto dello  
Stretto di Messina del 28 dicembre 1908,  
Bollentino della Societa Sismologica Italian-  
a, Vol. XIII, pp. 369—458, 1908.

1. Nella cost orientale della Sicilia.  
Messina.———

Nel porto di Messina, come ho detto,  
l'altezza cel mare non supero i 3 metri ; ma  
produsse non pochi danni alle navi che vi  
si trovavano ancorate.

——— La nafta, galleggiando sull'  
acqua, al ritirarsi delle onde lascio tracce  
persistenti sui muri della Difesa Marittima.  
Potei cosi misurare in quel posto l'altezza  
massima dell'onda, che al Deposito Nocchie-  
ro fu di 2m60.

Secondo il prof. Omori, in un posto,  
presso il medesimo comando, dove l'altezza  
dell'onda massima era stata determinata  
come uguale a 2m70, le tracce di nafta  
lasciavano scorgere che le due onde succe-  
sive a quella raggiunsero altezze di 2m48 e  
2m08.

———  
Il prof. L. Palazzo, mi cmunico che la  
traccia dell'onda massima sulla parete della  
Scuola Torpedinieli (a sinistra della porta  
segnata col N. 3) al Faro Grande di S.  
Raineri, pote essere misurata da lui con  
precisione e trovata 49 cm. al di sotto della  
piastrina, caposaldo di livello, murata nella  
parete suddetta. La quota di questo capos-  
aldo essendo 289 cm., la quota dell'altezza  
della traccia in discorso risulta di 240 cm.

A sud del Faro grande di S. Raineri e piu  
oltre presso il Cimitero dei protestanti,  
l'altezza dell'onda dovette superare i 3 m. :  
diversi tratti di muro furono rovesciati dal  
mare e grossi pezzi di muro trasportati a  
20e piu metri di distanza, e lunghi tratti di

muro furono coperti di sabbia. La casa del custode del Cimitero stesso fu asportata e di lui e della moglie non si ebbe più nuova.-----

Le banchine tutto intorno al porto si sono abbassate e in parte franate (Tav. I, fig. 1). "Per la speciale conformazione delle sponde del bacino portuale, scrive l'ing. I. Inglese, per la vicinanza del fondo, le banchine non hanno mai presentato grande solidità, e questo spiega l'abbassamento per la maggior parte della loro lunghezza, avendo i muri di calata perduto il loro appoggio per effetto dello scotimento generale prodotto dal terremoto nel terreno poco consistente sul quale è poggiata tutta la parte di Messina in fregio al bacino del porto".

---

A sud di Messina, alla foce del torrente Portalegna, l'onda dovette avere altezza ancora maggiore, forse intorno a 6. (pp. 373-378).

Messina (Broga Marittima di P. S.)

.....	3.00
(S. Raineri, Difesa Marittima) .....	2.60
(Faro di S. Raineri ... (prof. Palazzo) ..	2.40
(foce del torrente Portalegna) .....	6.00

(p. 406)

[註：以上の記述により、メッシーナ港での津波高は少なくとも2.5米以上と考えられる。また、附属写真-1, 2によると、石造の家屋が倒壊などの被害を受けていないことは明白である。写真-2の人の大きさから比べると、地盤高は0.5米の程度のものである。したがって、2米の浸水位であったと想定しても、大きな間違いはあるまい。

すなわち、ここの石造家屋は浸水位2米では壊されることはなかったと判断できる。]

(6) Urban Regional Research : Land Management in Tsunami Hazard Area, 258 p. 1982.

ハワイ・ヒロにおける1960年チリ津波に関する記述 pp. 72-73.

The damage caused by the 1960 tsunami was studied by a team of structural engineers who conducted a field survey of damaged structures in Hilo that survived the tsunami. A summary of their findings is quoted below.<sup>4</sup>

"All of the evidence gathered in the survey of structural damage indicates that the third wave of the tsunami approached the shoreline of Hilo Harbor as a bore approximately 15 feet above normal sea level, and swept inland at high velocity as a sheet of water. It was this mass of high-velocity water moving laterally which inflicted the heavy damage to structures on shore. Evidence of structural damage indicates that the height of this high-velocity water ranged from 8 to 12 feet above ground level, and that it traveled at 25 to 40 feet/second....."

The force of the water completely demolished all light frame buildings and most heavy timber structures and inflicted varying degrees of damage to structural steel and reinforced concrete structures. Properly designed reinforced concrete construction seemed to withstand the force of the water with little serious damage to the structural frame. However, damage was particularly severe where the fronts of buildings were open or glassed, but where the rear walls were relatively continuous.

There was definite evidence that a strong

structure will tend to reduce the damage to weaker structures which might be downstream from the strong structure. Shielding in this manner was observed in regard to heavily constructed buildings which lay behind the Mooheau Pavilion area, the Cow Palace, the Hilo Theater, and the Power Plant. On the other hand reservation of unobstructed open areas, such as much of the area between Bayshore Drive and Kamehameha Street, offers little or no protection to structures further inland.

From a practical standpoint the ground floors of even the strong structures whose frame work suffered no significant damage can be said to have been greatly harmed by the passage of the wave. Substantial pieces of machinery and equipment were swept away, furnishings were ruined, and water damage to floors and walls was severe. It would seem to be impractical to attempt to design a structure so that the fixtures and furnishings on the ground floor would resist a tsunami similar to this one ; however, on the basis of the findings in this report, it does appear possible to design a structural framework which would resist such waves. Certainly, adequate design foresight would greatly reduce the possibility of damage.

In designing a structure for resistance to tsunamis, consideration should be given to several points. First, if possible the structure should be oriented with its long dimension parallel with the anticipated direction of the wave. This will offer the greatest strength in resisting the water pressure, especially if special features can be incorporated. For example, "shear walls"

could be included parallel to the anticipated wave direction. These would afford maximum strength without increasing the load to the structure. Of course, the possibility of building on stilts should be considered, thus reducing the total load to be withstood. Many of our most modern structures have been built in this fashion with the first floor area being utilized for parking, or for attractive gardens. If it is impractical to abandon the ground level area, then it would be possible to enclose the first floor with light exterior walls which would be ripped away by the water. In this event, the first floor would be considered expendable in order to safeguard upper floors."

4. Reese and Matlock, Source : Appendix HCZMDOC#5, Coastal Hazards : 71-72 ; 1968 (1965)

(7) Lander, J. F. and P. A. Lockridge : United States Tsunamis (Including United States Possessions) 1690-1988, U. S. Department of Commerce, Publication 41-2, 265 p., 1989.

1946年アリュージョン津波, ウニマック島 (pp.94-97).

1946. April 1, 12:29. A magnitude 7.3 earthquake occurred south of Unimak Island, causing one of the most destructive tsunamis ever to occur in the Pacific Ocean. The rise of water was 30.5 m in the Aleutian Islands, 17 m on the Hawaiian Islands, 9-10 m in the Marquesas Islands and the Juan Fernandez Islands, 3 m at Santa Cruz and Half Moon Bay, California,



and not more than 1 m on Ayukawa, Japan. An important consequence of the tsunami—the realization that tsunami warning system was needed—resulted in the establishment of the Pacific Tsunami Warning Center in 1948. A second strong shock at 12:55 UTC was felt on Unimak Island before the wave arrived. However, Bodle (1946) found that the travel times of the tsunami fit the theoretical travel times for the earlier earthquake.

In the reinforced concrete Scotch Cap lighthouse on Unimak Island (fig. 36) five men were engaged in support operations connected with the maintenance of the 80,000-candlepower beam. Perched atop a building constructed 5 years earlier at a cost of \$150,000 on a bluff 9.8 m above sea level, the new light was a total of 28 m above sea level. On a cliff behind the lighthouse a second building housed the Coast Guard radio direction-finding station and crew quarters.

Suddenly, at 1:30 A. M. an earthquake rocked the buildings for 30 or 40 seconds but caused no damage. About 27 minutes later, a second jolt was felt. Twenty-one minute after the second shock, water began flooding the radio direction-finding station. Men off shift and asleep in their bunks were awakened and ran into the operations room where they were instructed to look for higher ground. Stumbling through ankle-deep water outside the structure, the men noted that the beacon from the lighthouses was no longer operating and believed the lighthouse had been destroyed.

The coming of daylight revealed the full

extent of the damage. A concrete platform and a few pieces of broken concrete were all that remained of the 18-m structure (fig. 37). Debris had been deposited as high as 35 m above the sea, and a radio tower 32 m above the sea had been washed away. The tsunami had also completely destroyed the original Scotch Cap lighthouse built in 1903 and replaced by the newer structure in 1940. Even the direction-finding station on the bluff received damage, including a fire in the switch board, flooding of the fuel tank, and loosening of the antenna guy wires. Portions of the bodies of 3 of the 5 men who occupied the new lighthouse were recovered 3 weeks later. (Sanford, 1946).

Figure 36. The lighthouse at Scotch Cap on Unimak Island, Alaska, constructed in 1940. The octagonal structure in the background is the former lighthouse constructed in 1903.

Figure 37. The devastation at Scotch Cap after the tsunami of April 1, 1946. All that remains of the lighthouse is the foundation, a wall, and debris strewn over the bluff.

1946年アリユーション津波，ハワイ・ヒロ  
(pp.41-42).

At Hilo the water rose about 5.1 m at the mouth of the Wailuku River (figs. 18 and 19). A steel span of the railroad bridge was torn from its foundation and tossed 273 m upstream. The waves were 7.5 m at Coconut Island and 8.1 m at Pier 1. Every house on the main street facing Hilo Bay was smashed against the buildings on the other side (fig. 20). East of Hilo at

and not more than 1 m on Ayukawa, Japan. An important consequence of the tsunami—the realization that tsunami warning system was needed—resulted in the establishment of the Pacific Tsunami Warning Center in 1948. A second strong shock at 12:55 UTC was felt on Unimak Island before the wave arrived. However, Bodle (1946) found that the travel times of the tsunami fit the theoretical travel times for the earlier earthquake.

In the reinforced concrete Scotch Cap lighthouse on Unimak Island (fig. 36) five men were engaged in support operations connected with the maintenance of the 80,000-candlepower beam. Perched atop a building constructed 5 years earlier at a cost of \$150,000 on a bluff 9.8 m above sea level, the new light was a total of 28 m above sea level. On a cliff behind the lighthouse a second building housed the Coast Guard radio direction-finding station and crew quarters.

Suddenly, at 1:30 A. M. an earthquake rocked the buildings for 30 or 40 seconds but caused no damage. About 27 minutes later, a second jolt was felt. Twenty-one minute after the second shock, water began flooding the radio direction-finding station. Men off shift and asleep in their bunks were awakened and ran into the operations room where they were instructed to look for higher ground. Stumbling through ankle-deep water outside the structure, the men noted that the beacon from the lighthouses was no longer operating and believed the lighthouse had been destroyed.

The coming of daylight revealed the full

extent of the damage. A concrete platform and a few pieces of broken concrete were all that remained of the 18-m structure (fig. 37). Debris had been deposited as high as 35 m above the sea, and a radio tower 32 m above the sea had been washed away. The tsunami had also completely destroyed the original Scotch Cap lighthouse built in 1903 and replaced by the newer structure in 1940. Even the direction-finding station on the bluff received damage, including a fire in the switch board, flooding of the fuel tank, and loosening of the antenna guy wires. Portions of the bodies of 3 of the 5 men who occupied the new lighthouse were recovered 3 weeks later. (Sanford, 1946).

Figure 36. The lighthouse at Scotch Cap on Unimak Island, Alaska, constructed in 1940. The octagonal structure in the background is the former lighthouse constructed in 1903.

Figure 37. The devastation at Scotch Cap after the tsunami of April 1, 1946. All that remains of the lighthouse is the foundation, a wall, and debris strewn over the bluff.

1946年アリューション津波，ハワイ・ヒロ  
(pp.41-42).

At Hilo the water rose about 5.1 m at the mouth of the Wailuku River (figs. 18 and 19). A steel span of the railroad bridge was torn from its foundation and tossed 273 m upstream. The waves were 7.5 m at Coconut Island and 8.1 m at Pier 1. Every house on the main street facing Hilo Bay was smashed against the buildings on the other side (fig. 20). East of Hilo at

Puumaile Tuberculosis Hospital waves were 6.1 m high overtopping the breakwater and causing minor flooding at the hospital (fig. 21).

Figure 21. A major tsunami generated by the earthquake in the Aleutian Islands on April 1, 1946, is shown striking the beachfront at the Puumaile Tuberculosis Hospital Hilo, Hawaii. (Photo Credit : Mrs. Harty A. Simons, Sr.) [現地を1990年に訪問。現在は病院は移転。海岸すぐ脇に跡あり。汀線際に地盤上高さ1m位のバラベツト、跡地は海拔1m位。結局、あまり浸水位も被害も大きくは無かったらしい].

(8) Dudley, W. C. and Min Lee : Tsunami !, University of Hawaii Press, 132 p., 1988.

Naniloa Hotel (1946年アリユーション津波)  
(pp.25-27).

The Naniloa Hotel, situated on the peninsula projecting into Hilo Bay, was largely left intact, although it did lose its dining room, boat house, and swimming pier. The hotel was practically the only building along the shoreline not totally destroyed or seriously damaged.

Photographs taken in Hilo show that the tops of breakers were more than 25 feet above the normal water level in the bay as they swept over Coconut Island (see Figure 1.5).

[その前面では津波高7.5ないし8.1m. 地盤高, 浸水位は不明].

ヒロ (1960年チリ津波) (pp.77-79).

They recorded a period between waves of just over half an hour for the first two waves, but the third wave was very different. Ten minutes before the third crest should have washed into Hilo, a giant vertical wall of water—a bore—advanced on the town.-----

The formation of the bore in Hilo Bay may have been initiated by the large withdrawal of water during the trough of the second wave. Descriptions from observers near the Wailuku River and reports from boatmen near the harbor entrance indicate that before the bore arrived, the water in the harbor was at a level about 7 feet below normal ; the bore formed initially at the harbor entrance, near the end of the breakwater, where the depth of the water becomes shallower.

----- Evidence suggests that the height and turbulence of the bore reached a maximum in the bay between the harbor entrance and the Hilo bayfront, like enormous breaking surf. At this point, it was estimated to have been travelling at more than 30 miles per hour. The wave height along the shore steadily increased south-eastward along the bayfront, reaching a towering 35 feet near the Wailoa Moters building, located at that time on Kamehameha Avenue. The final flood of water into Hilo was described by scientists as being "analogous to the sheet of water that races up a beach beyond the spent breaker that propelled it" (Eaton et al. 1961).

As the wave surged into Hilo, it wrenched 22-ton boulders from the 10-foot-high bayfront seawall and carried

them as far as 600 feet inland across Mooheau Park, without leaving a noticeable mark on the lawn. The water struck with such force that 2-inch pipes supporting parking meters along the waterfront were bent over parallel to the ground (Figure 5.4). Electric cables and transformers were torn from utility poles. The reinforced

concrete office of the Hilo Iron Works withstood the force of the wave, but its second-story skylights were blasted out by the increase in air pressure as the wave struck the building—it had become a manmade "blowhole". At a nearby showroom, an 11-ton tractor and the building housing it were removed by the wave.

(9) 佐々木忍：チリ地震津波について，第7回海岸工学講演会講演集，土木学会，pp.275-287，昭和35年。

湾名	位置	浸水高	地盤高	水深	構造物被害状況	周囲
大船渡	赤崎 大船渡	5.00	3.70	1.30	木造モルタル半壊	木造全壊流失
		4.40	1.55	2.85	木造モルタル半壊	
		5.50	1.90	3.60	木造モルタル半壊	
					石造鉄筋コンクリート安全	
		4.70	1.80	2.90	木造モルタル半壊 コンクリートブロック安全	
		4.25	2.10	2.15	木造モルタル半壊	
宮古	津軽石	4.70	2.70	2.00	木造半壊 一部安全	田圃
		4.80	3.00	1.80	木造半壊	
		4.60	2.20	2.40	木造，土台コンクリートポ ールト締半壊	
	高浜	4.90	1.40	3.50	木造流失	木造流失
		4.90	2.00	2.90	木造，土台コンクリートポ ールト締半壊	
	山田	山田	3.00	1.70-1.80	1.30-1.20	木造安全，防潮堤前
3.00			2.00	1.00	造安全，防潮堤後	
関口		3.10	1.00	2.10	基礎コンクリートモルタル 塗安全	
織立		3.20	1.60	1.60	木造半壊	
		3.20	1.00-1.40	2.20-1.80	木造流失全壊	
		3.20	1.60-1.70	1.60-1.50	木造半壊	

### 付録-3 鉄製の灯台についての注釈

R. H. ブラントン；お雇い外人の見た近代日本、講談社学術文庫、昭和61年より引用。

今日までのところ、日本で使用した鉄材はすべてヨーロッパから輸入した。したがって鉄造の灯台は必然的に高価になった。そのため私は三基の灯台のみ鉄で造った。それは灯台の建設場所が人の寄り付きにくい危険な場所であったためである。鉄を使用すると灯台の各部分の運搬や取扱いが容易であるし、建設の現場では他の資材のときより速やかに組立てられるなどの利点がある。

鉄造の灯台は、高さ20ないし30フィート（1フィートは約30.5センチメートル）で、4分の一と、16分の3インチ（1インチは約2.54センチメートル）の厚さの鉄板を鉄柱に鋸で止めて塔を包んだ。4の8本またはそれ以上の鉄柱は3インチ角、厚さ2分の1インチの山形鉄で、これらは厚さ8分の3インチ、幅12インチの耳をつけた鉄板で組立てた。同じ鉄板で各階の床や灯室を支える梁も造った。また石の基礎の上に錬鉄の小さな柱を立て、この上に鉄柱を建てた。

羽根田の灯台は海底に鉄の螺旋杭を立てて支柱としたもので、これはスチブソン兄弟が設計し、組立てたものを解体して日本に舶載したのを羽根田に建てたのである。

注 ブラントンが建設した鉄造の灯台は、九州西岸の烏帽子島と伊王島と、九州南岸の佐多岬及び上記の羽根田の各灯台である。----- (pp.222-223).  
-----

烏帽子島は下関海峡から西南60マイル（約96キロメートル）、九州本土からは10マイル（約16キロメートル）沖にある円錐形の岩である。瀬戸内海と長崎の間を通航する船はみなこの島の付近を通る。島は高さ120フィート（約36.6メートル）で堅い玄武岩で出来ている。島の周囲は急峻な崖になっていて、頂には50トン以上もの巨石が数個あって、灯台

建設にはまずそれらの岩を除かねばならなかった。人を寄せ付けぬ絶壁の上への建築資材の運搬は困難なため、鉄造の灯台を建てることにした。灯塔は八角形で、高さは基礎上32フィート6インチ（約9.1メートル）、最大幅は基部で23フィート6インチ（約7.1メートル）、頂部で18フィート6インチ（約5.6メートル）であった。(pp.225-226).

-----  
佐多岬は九州の南端にあり、-----岬から海に向かって二つの島があり、前方の島は岬から約300ヤード（約274メートル）の距離で、高さ180フィート（約55メートル）である。-----目的の島は頂上が尖っているので、灯台を建てる場所を得るためには、高さ40フィート（約12メートル）ばかりを削り取って平にしなければならなかった。  
-----

灯台は鉄造で、基礎から灯火までの高さ17フィート9インチ（約5.4メートル）、海面上灯火のある床まで179フィート（約54.6メートル）である。塔は六角形で、基部の幅は24フィート（約7.3メートル）、頂部で16フィート（約4.9メートル）である。(pp.226-227)。

\*灯台の等級はレンズの焦点距離（すなわち光源からレンズの中心迄の距離）及び高さ（大きさ）によって格付けされ、結局灯台の規模を表す。例えば、一等では焦点距離92センチメートル、高さ259センチメートル、二等は、70センチメートルに206.8センチメートル、----- (pp.207-208)。

付録－4 昭和三陸大津波漁船被害調査表

場 所		総 数	流失	破壊	小破	安全	汀線付近 水位 (m)
大野湾小友町只出	動力船	4		1	3		8
	在来船	70	[53]			17	
広田湾広田町泊	動力船	5		2	1	2	6.4
	在来船	1				1	
大船渡湾末崎町細浦	動力船	31		3	28		4.3
	在来船	320	[20]		300		
大船渡湾末崎町泊里	動力船	11	1	2	8		5.5
	在来船	290	[270]		[20]		
大船渡湾赤崎町 宿, 生形, 山口	動力船	5			5		3.5
	在来船	259	[85]		174		
大船渡湾赤崎町永浜	動力船	2			2		3.2
	在来船	138	[57]		81		
大船渡湾赤崎町清水	動力船	3			3		3.1
	在来船	49	[28]		21		
大船渡湾赤崎町 蛸ノ浦	動力船	9			9		2.6
	在来船	156	[75]		81		
綾里	動力船	35			15		8.6
	在来船	145		4	140	1	
綾里 野々前 白浜	動力船	3		2	1		22.1
	在来船	79	[79]				
越喜来湾三陸町浦浜	動力船	7		4	3		9.9
	在来船	35		29	6		
越喜来湾三陸町崎浜	動力船	17	12			5	7.6
	在来船	60		20	40		
唐丹湾唐丹花露辺	動力船	3	1		2		8.8
	在来船	62		60	2		
唐丹湾唐丹本郷	動力船	9	1	2	2	4	9.9
	在来船	70		69	1		
釜石市平田	動力船	3		1		2	4.8
	在来船	80	3	47	14	16	
釜石市釜石港	動力船	137	27		110		4.4
	在来船	236	191		45		
両石湾鶉住居町箱崎	動力船	7		1	5	1	4.3
	在来船	70	12		18	40	
大槌湾安渡	動力船	40	2	3	35		3.4