

## 津波による家屋の破壊率

羽鳥徳太郎\*

(昭和 59 年 7 月 11 日受理)

### 要 旨

1933 年三陸・1960 年チリ津波において、三陸沿岸で津波の高さが平均海面上 3 m 以下のとき、家屋の破壊率は 10~20% であったが、4 m をこえると破壊率は急激に増加し、50% 以上に達した。家屋の破損は津波の流速にかなり左右され、水流圧力が  $5\sim 9 \text{ m}^2/\text{sec}^2$  になると、家屋の破壊率は 50% をこえた。1983 年日本海中部地震津波における秋田県八森では、家屋の破損は地面から 1.5 m の浸水高で半壊し、2.0 m 以上に達したところが全壊していた。近年、家屋構造の変化や海岸保全施設の整備にともない、浸水高が 1~2 m の津波では流失家屋は目立って減少している。

### 1. はじめに

津波による家屋被害は、家屋自体の強度のほかに船や木材など漂流物の衝突によることがあるが、多くは水流圧力（地面上の浸水高と流速の 2 乗値との積に比例）に左右されている。NASU (1934) は、1933 年三陸津波の調査から、浸水高と家屋の破壊との関連の目安を示した。また筆者 (HATORI, 1964) は、1960 年チリ津波などで被災した市街地の平均流速を試算し、水流圧力と家屋の破壊率との関係を調べた。しかし、市街地内における津波挙動の調査資料が少なく、浸水高・流速分布はあまり分っていない。

最近、筆者ら (羽鳥ほか, 1981, 1982, 1983) は大きな津波災害を受けた尾鷲・大船渡および湯浅・広において浸水高の測量を実施し、市街地内の浸水高分布を示した。そして、これら調査資料をふまえた津波数値実験から (相田, 1977; 相田・羽鳥, 1982, 1983 a, b), 流速分布がかなり理解できるようになった。本文では、まず 1896 年・1933 年三陸津波、1960 年チリ津波における各地の津波の高さと家屋破壊率の関係を示し、市街地の波高分布・数値解析の新資料を加えて水流圧力の影響を検討してみた。

1960 年チリ津波以後、沿岸各地では護岸・防潮堤などの海岸保全施設が建設整備され、一方では家屋の土台がボルトで基礎に結合されるなど強度が増加してきた。1968 年十勝沖津波では、海岸施設が大きな効果を発揮し、宮古湾内など一部の地域を除いて家屋の流失破壊件数は激減している。20 数年前の津波と比べ、家屋の被害状況は変化しており、ここでは 1983 年日本海中部地震津波における秋田県八森町の状況を示す。

### 2. 家屋の破壊率

1896 年三陸津波は死者 22,000 人に達し、日本で最大の津波犠牲者を記録した。1933 年三陸津波では 3,000 人の死者を出し、沿岸各地は潰滅的な大被害に見舞われた。また、

\* 元地震研究所所属、現在 川口市末広 2-3-13 〒332

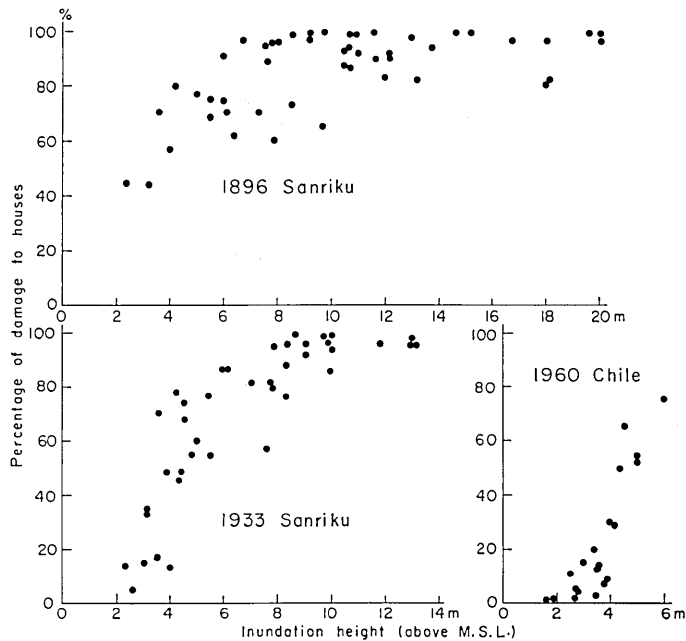


Fig. 1. Relation between the inundation heights and the percentage of damage to houses,  $D$ .  $D=(a+b/2)/(a+b+c)\times 100$  (%), where  $a$  is the number of the flooded and destroyed houses,  $b$  half-destroyed houses, and  $c$ , inundated houses.

1960年チリ津波は太平洋沿岸全域に影響を与え、死者119人、北海道・三陸および志摩沿岸の被害が甚大であった。

これら津波の調査報告(山奈, 1896; 地震研究所, 1934; 仙台管区气象台, 1961)から、津波の高さ(平均海面上)\*と家屋の破壊率の関係をFig. 1に示す。ここに、家屋の破壊率  $D$  は

$$D = \frac{a + b/2}{a + b + c} \times 100, (\%)$$

$a$ : 流失・全壊戸数,  $b$ : 半壊戸数,  $c$ : 床上・床下浸水戸数を表わす。つまり浸水被害を受けた全戸数の内で、かなり強い破壊を受けた戸数の比率を示している。なお家屋被害のデータは、1896年と1933年三陸津波では岩手県内のもの、1960年チリ津波では三陸沿岸(青森・岩手・宮城県)のものをプロットしてある。

1896年三陸津波では、津波の高さ(平均海面上)が3m前後であった大船渡・広田湾奥で破壊率は40%になり、1933年三陸津波と比べ目立って大きい。当時、海岸に防潮堤などの施設がなく、漁港付近の集落は地盤高1.5m程度の低地にあった。津波の高さが4mに達すると、破壊率は両津波とも急激に増加して50%をこえ、6mでは70~80%に達している。一方、チリ津波では津波の周期が50~60分と長く(三陸津波の波の周期は15分前後)、大船渡・広田湾など大型湾の被害が顕著であった。津波の高さが3m以

\* 地面上の浸水高データが少ないので、ここでは平均海面を基準にとるデータを用いた。

下のとき破壊率は20%以下であるが、4mをこえると急上昇し、5mあたりで50~60%になり、三陸津波と比べて低率である。住民の証言にもあるように、チリ津波は陸上に遡上したときの流速が小さく、これが破壊率に反映した。

### 3. 流速と家屋の被害

津波の流速は、河川流域・田畑など障害物の少ないところと市街地とでは、水流に与える抵抗（等価摩擦係数）が異なり、多様に振る舞うが次のような傾向がみられる。Table 1には2~3の地域について、河口・市街地および山ぎわ付近における津波数値実験（相田・羽鳥, 1982, 1983 a, b）から得られた平均流速を示す。これを図示したのがFig. 2である。河口付近では3~6m/secと最っとも大きく、山ぎわでは定常波のように振る舞い0.5~1m/secになる。市街地では1~3m/sec程度であるが、家屋密集域では遅く、粗い地域では速くなる。また、津波が短周期波の場合には流速が大きくなり、市街地内の流速ベクトルは複雑である。

一方、遡上した津波が引き返すときの流速は、上げ波のときとほぼ同じであるが、浸水域内で多少異なる。例えば、河口付近では上げ波は河口より少し奥に入ったところが最大になり、引き波のときは河口から出た港内が最大になっている。また、傾斜地の市街地では、局地的に上げ波より下げ波の流速が大きくなる。この現象は、現地調査でよく聞かれる通りである。

Table 1. The calculated run-up velocity in towns.

Tsunami	Location	Water velocity (m/sec)		
		Foot of hill	Street area	Mouth of river
1944 Tonankai	Owase	~0.5	1~2	3~4
1946 Nankaido	Susaki	~0.5	1~2	
"	Ohnogo			5~6
"	Usa	0.5~1	2~3	3~4
"	Yuasa		1~2	4~5
"	Hiro		1~2	3~4
1990 Chile	Ofunato	0.5~1	1~2	4~5

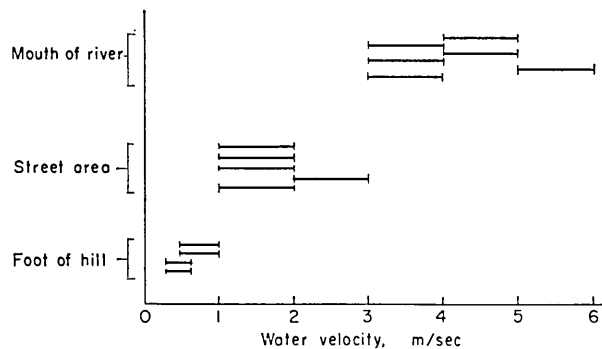


Fig. 2. Calculated values of the run-up velocity in towns.

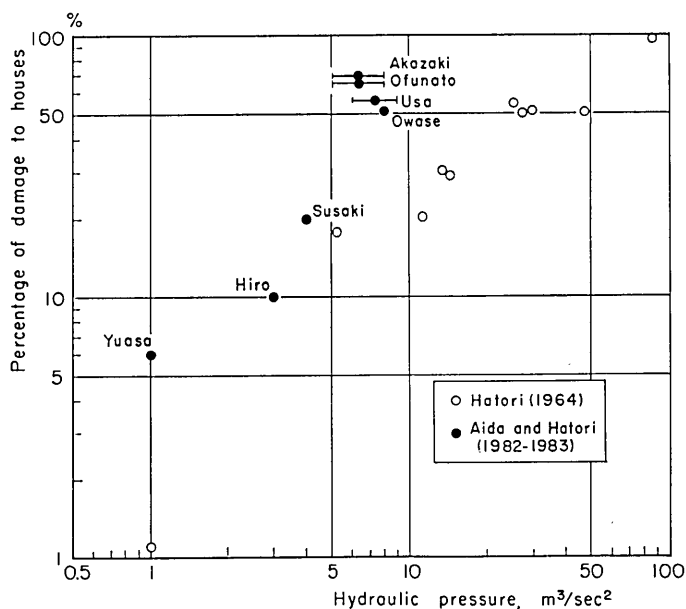


Fig. 3. Relation between the hydraulic pressure and the percentage of damage to houses.

家屋の破損は水流圧力（地面上の浸水高と流速の2乗値との積）に左右されると考え、Fig. 3に水流圧力と家屋の破壊率の関係を示す。ここで白丸で示すデータは、さきに筆者（HATORI, 1964）が浸水域の断面のかたちから平均流速を求め、その結果をプロットしてある。この関係は、近似的に破壊率  $D$  が  $D \approx 9\sqrt{H} \cdot V$  ( $H$ : 地面上の浸水高, m,  $V$ : 流速, m/sec) で表わされた。今回の数値実験データ（黒丸）によれば、それより破壊率は上回り、水流圧力が  $5 \sim 9 \text{ m}^3/\text{sec}^2$  になると50%をこえ、流速の効果が急激に増加することを示している。家屋が破壊すると、それが漂流物となって他の家屋に衝突が多発するからであろう。

#### 4. 日本海中部地震津波の例

以上、1960年チリ津波以前のデータから家屋被害を述べたが、その後家屋の構造は著しく変化し、土台がボルトで基礎に結合されるなど津波に対して強度が増している。ここでは1例として、1983年日本海中部地震津波によって大きな被害を受けた秋田県八森町滝ノ間・浜田地区の被害状況をみてみよう。

Fig. 4には、防災都市計画研究所（1983）が現地調査した家屋の被害分布と地面上の浸水高（単位m）を示す（平均海面上の津波の高さは5~7m）。西方から押しよせてきた津波は（矢印は入射方向を示す）滝ノ間の集落内に遡上し、多数の家屋が全壊した。港の前には岩礁が広がり、海岸にそった護岸が津波の勢力を消耗させたと思われるが、山ぎわにそって集落を洗い流したらしい。浜田では泊川にそって侵入し、浸水高が1.5m以下であったので（地盤高は約5m）、半壊程度にとどまった。そのほか茂浦地区のデータを加

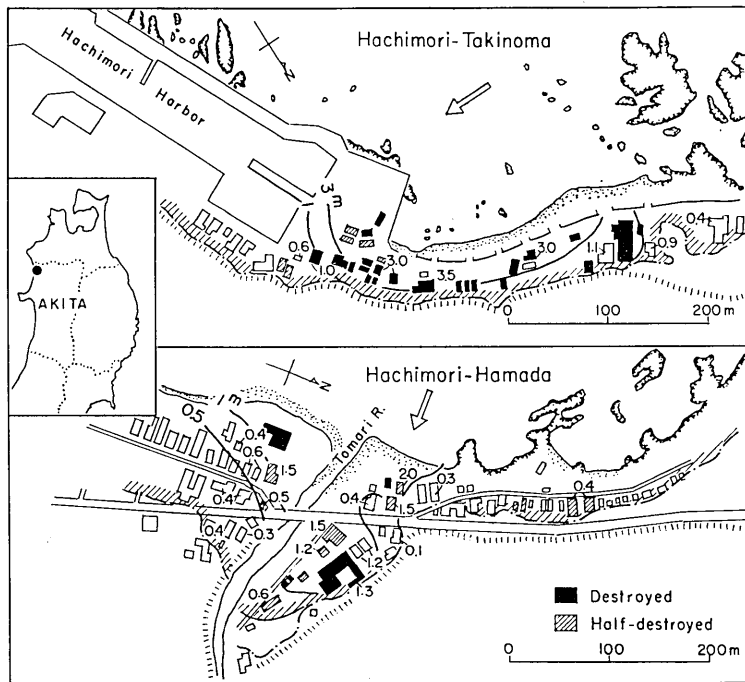


Fig. 4. Distribution of damage to houses at Hachimori and the inundation heights (above ground, unit: m) of the 1983 Nihonkai-Chubu tsunami.

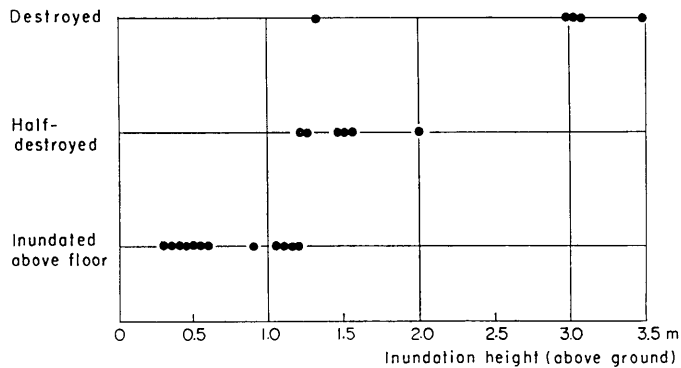


Fig. 5. Relation between the inundation heights and the damage to houses at Hachimori.

え、浸水高と被害の関係をみると Fig. 5 のようになる。浸水高が地面上 0.5~1 m で床上浸水、1.5 m 前後で半壊し、2 m をこえたところが全壊しているが、流失家屋はほとんど出ていない。

### 5. むすび

1933 年三陸津波・1960 年チリ津波において、三陸沿岸地域の津波の高さと家屋の破壊

率の関係は、平均海面上 3 m の波高で 10~20% の破壊率であったが、4 m をこえると急激に増加して 50% 以上に達している。これは、地上における水流圧力に左右され、 $5\sim 9\text{ m}^3/\text{sec}^2$  になると破壊率は 50% をこえ、河口付近に集中している。

秋田県八森において、日本海中部地震津波による家屋被害をみると、浸水高が地面上 0.5~1.0 m で床上浸水、1.5 m 前後で半壊し、2 m 以上に達した家屋が全壊になった。この津波で多数の漁船が護岸上に打ち上げられたが、幸にその付近にとまり、一部の地域を除いて市街地への侵入は免れた。もし、津波の高さがもう 1 m も上回れば、それら漂流物の衝突で家屋の被害件数は倍増したに違いない。

この 20 年の間に、家屋構造が変化し、防潮施設の建設・整備にともない、浸水高 1~2 m 程度の津波に対して流失件数は激減し、破壊の程度もかなり軽減したと言えよう。しかし、港湾ではむかしと比較にならないほど船舶が増加し、大型化してきたから、ひとたびそれら船舶が市街地に遡上すれば、家屋の破壊件数は急激に増加することは疑いない。津波時における船舶の避難対策は、船自体の破損を防ぐとともに、市街地の安全度を高める上で重要課題である。

#### 文 献

- 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, 52, 441-460.
- 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.
- 相田 勇・羽鳥徳太郎, 1983a, 大船渡市街に遡上した津波の数値実験, 地震研究所彙報, 58, 175-185.
- 相田 勇・羽鳥徳太郎, 1983b, 和歌山県, 湯浅・広川両町に遡上した津波の数値実験, 地震研究所彙報, 58, 667-681.
- 防災都市計画研究所, 1983, 日本海中部地震調査報告.
- HATORI, T., 1964, A study of the damage to houses due to tsunami, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 42, 181-191.
- 羽鳥徳太郎・相田 勇・岩崎伸一・日比谷紀之, 1981, 尾鷲市街に遡上した津波の調査——1944年東南海, 1960年チリオおよび1854年安政津波, 地震研究所彙報, 56, 245-263.
- 羽鳥徳太郎・相田 勇・小山盛雄・日比谷紀之, 1982, 大船渡市街に遡上した津波の調査——1960年チリオおよび1933年三陸津波, 地震研究所彙報, 57, 133-150.
- 羽鳥徳太郎・相田 勇・坂下至功・日比谷紀之, 1983, 和歌山県湯浅・広に遡上した南海道津波の調査——1946年南海道および宝永・安政津波について, 地震研究所彙報, 58, 187-206.
- NASU, N., 1934, Heights of tsunami and damage to structures, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo. Suppl.* 1, 218-227.
- 仙台管区気象台, 1961, 昭和 35 年 5 月 24 日チリ地震津波調査報告.
- 東京大学地震研究所, 1934, 昭和 8 年 3 月 3 日三陸地方津波に関する論文及び報告, 地震研究所彙報, 別冊第 1 号.
- 山奈宗真, 1896, 明治 29 年三陸大海嘯岩手県沿岸被害取調表 (山下文男, 哀史三陸大津波, 青磁社, 東京, 1982).

*On the Damage to Houses due to Tsunamis*

Tokutaro HATORI

On the Sanriku coast which was hit by the 1933 Sanriku and the 1960 Chile tsunamis, 10~20% of the wooden houses were damaged when inundation heights were about 3 meters (above M. S. L.). The damage percentages suddenly increased to 50% or more when the inundation heights were over 4 meters. Damage to houses is controlled directly by the hydraulic pressure due to the water flow. The hydraulic pressure that acts upon a house is expressed as  $p \propto hv^2$ , where  $h$  is the inundation height above ground and  $v$  the water velocity. The percentage of damage to houses reached 50% or more when the hydraulic pressure became  $5 \sim 9 \text{ m}^3/\text{sec}^2$ . In many cases of tsunamis, the water velocity was  $3 \sim 6 \text{ m/sec}$  at the mouth of a river,  $1 \sim 3 \text{ m/sec}$  in the street area and  $0.5 \sim 1 \text{ m/sec}$  near the foot of a hill.

According to the report of the field investigation of the 1983 Nihonkai-Chubu tsunami at Hachimori, Akita Prefecture, most of the houses inundated floor when the water level were  $0.5 \sim 1.0$  meters (above ground). The wooden houses were partially damaged when the inundation heights were about 1.5 meters and destroyed 2.0 meters or more, but the houses hardly washed away. In recent years, bolts have been set in the bottoms of wooden houses and powerful sea walls have been constructed, so there is a strong tendency for the number of houses washed away to decrease.