

## II-22

# 津波氾濫流の被害想定

秋田大学大学院 学生員 ○飯塚 秀則

秋田大学 正 員 松富 英夫

1. まえがき 国や多くの自治体で津波被害想定の見直しを行ってきたが、家屋等に対する具体的な被害想定には立ち入れないのが現状である。これまでに、津波氾濫流そのものや流木を代表とする漂流物衝突などの被害想定を行うために、①津波浸水深と陸上流速の関係<sup>1)</sup>、②流木漂流速度と衝突力の関係<sup>2)</sup>、③津波浸水深と家屋被害程度<sup>3)</sup>の関係<sup>3)</sup>、などが検討されている。本研究は、これらを用いて数値計算による推定津波浸水深より氾濫流の流体力や流木の衝突力を推定し、家屋等の破壊に対する被害想定を行うことを目的とする。

2. 浸水深と陸上流速 これまでに、津波の浸水深と陸上流速の関係についての検討を行ってきており<sup>1)</sup>、理論と実験および津波現地調査データから、津波先端部背後の定常的な部分における流速の簡便な評価式として次式を得ている。

$$u/(gR)^{0.5} \doteq 1.1(h_f/R)^{0.5} \quad (1a)$$

$$u/(gR)^{0.5} \doteq 2.0(h_f/R)^{0.5} \quad (1b)$$

ここで、 $u$  は陸上流速、 $g$  は重力加速度、 $R$  は対象地点付近の津波高、 $h_f$ 、 $h_r$  は流れ方向に見て家屋等の前面と背面での浸水深である。この式(1a),(1b)により想定津波氾濫流の陸上流速と、数値計算では得にくい家屋等の前面浸水深を推定することができる。

3. 浸水深と流木衝突力 これまでに、水路実験、空中での大規模実験と衝突力評価式の式形の理論的な考察に基づいて、次の流木衝突力評価式が提案されている<sup>2)</sup>。

$$F_m / \gamma_D D^2 L \doteq 1.6 C_{M1} \{v_{a0}/(gD)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_f / \gamma_D L)^{0.4} \quad (2a)$$

$$\doteq 3.7 C_{M1} (h_f/D)^{0.6} (\sigma_f / \gamma_D L)^{0.4} \quad (2b)$$

ここで、 $F_m$  は流木衝突力、 $\gamma_D$  は流木の単位重量、 $D$  は流木径、 $L$  は流木長、 $C_{M1}$  は見かけの質量係数、 $v_{a0}$  は衝突速度、 $\sigma_f$  は流木の降伏応力である。剛な構造物へ衝突するときに適用されるもので、 $C_{M1}$  は開度(= 100 × (1 - 家屋幅/流域幅)(%)) が大きい時や段波やサージに伴う場合は 1.7、それら背後の定常的な流れに伴う場合が 1.9 である<sup>2)</sup>。式(2b)は式(2a)と(1b)から衝突力を浸水深  $h_r$  の関数の形で表したもので、定常的な津波氾濫流に伴う流木の簡便な衝突力評

価式である。ただし、流木の衝突速度  $v_{a0}$  は氾濫流の流速  $u$  と等しいとして、危険側を考えている。式(2b)は何らかの理由により陸上流速が推定できず、浸水深のみ推定可能な場合などに適している。

4. 家屋等の被害判断基準 津波による家屋等への被害想定をする上で必要となるのは、陸上氾濫流そのものや漂流物の衝突によってどの程度の被害が生じるかの判断基準である。これまでに、北海道南西沖地震津波などで得られた現地データより、陸上氾濫流による家屋等の前面浸水深と被害程度<sup>3)</sup>の関係が求められている<sup>3)</sup> (表-1 参照)。これを用いて、家屋等の被害程度を浸水深ではなく抗力で評価し、被害判断基準とする。家屋等に働く津波氾濫流の抗力  $F_D$  は次式で評価される。

$$F_D = 0.5 \rho C_D u^2 A \\ = 0.5 \gamma_w C_D u^2 h_f B / g \quad (3a)$$

$$\doteq 0.61 \gamma_w C_D h_f^2 B \quad (\text{tf, m}) \quad (3b)$$

ここで、 $F_D$  は抗力、 $\gamma_w$  は海水の単位重量、 $C_D$  は抗力係数、 $u$  は陸上流速、 $h_f$  は前面浸水深、 $B$  は浸水部分の幅、 $g$  は重力加速度である。投影面積  $A$  には、津波の流体力に関する模型実験の結果<sup>4)</sup>や蓄積されたデータの有効利用を考えて前面浸水深を用いており、また抗力係数  $C_D$  は 1.1 ~ 2.0 を採用する。式(3b)は式(1a)より抗力を前面浸水深のみで表した、定常的な氾濫流における簡便な抗力評価式である。式(3b)により計算した家屋の造り別被害判断基準を表-1に示す。なお、流木の衝突については、家屋等の被害程度との関係が判っておらず、被害判断基準の作成には至っていない。

表-1 家屋の造り別被害判断基準<sup>3)</sup> ( $C_D = 1.1 \sim 2.0$ )

| 家屋の種類        | 中 破       |              | 大 破       |              |
|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
|              | $h_f$ (m) | $F_D$ (tf/m) | $h_f$ (m) | $F_D$ (tf/m) |
| 鉄筋コンクリート造    | —         | —            | 7.0 以上    | 33.9~61.6 以上 |
| コンクリート・ブロック造 | 3.0       | 6.2~11.4     | 7.0       | 33.9~61.6    |
| 木 造          | 1.5       | 1.6 ~ 2.8    | 2.0       | 2.8 ~ 5.0    |

5. 津波遡上計算 秋田市沖約 90km の沖合で M7.7 の地震が発生したと想定して津波遡上計算を行い、津波氾濫流の抗力と流木衝突力の推定を行った。基本式

表-2 断層パラメータ

| 長さ   | 幅    | 深さ  | 滑り量   | 傾斜角 | 滑り角 | 走向角  | M   |
|------|------|-----|-------|-----|-----|------|-----|
| 93km | 54km | 1km | 400cm | 90° | 35° | 345° | 7.7 |

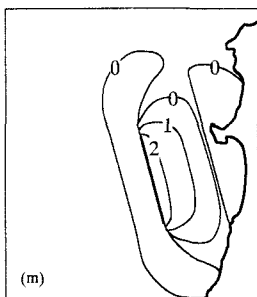


图-1 初期波形

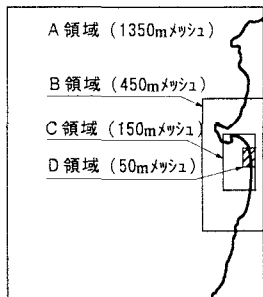


圖-2 計算領域

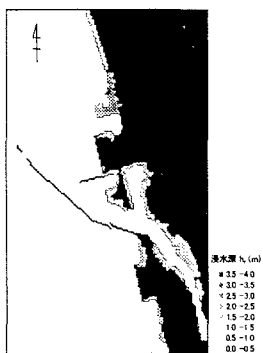


図-3 遡上域と最大浸水深

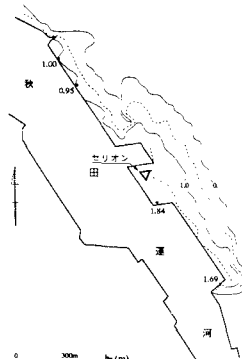
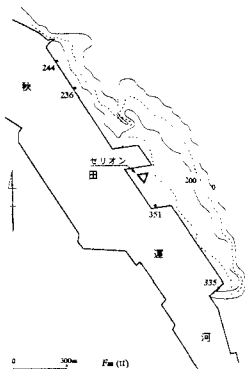
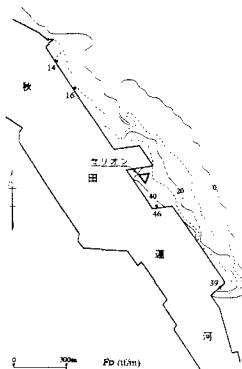


圖-4 浸水深詳細



(a) 流木衝突力分布



### (b) 抗力分布

図-5 推定流速による流木衝突力と抗力

は摩擦を考慮した浅水理論で、計算方法はリープ・フロッド法である<sup>5)</sup>。断層パラメータを表-2に<sup>9)</sup>、初期波形と計算領域を図-1, 2に示す。時間格子は領域A,Bで3秒, C,Dで1秒である。マンニングの粗度係数は陸域で0.040, 水深200m以浅の海域で0.025, それ以外の海域で0.010 (m.s)を採用した。

図-3 に遡上域と最大浸水深分布を示す。外海に面

した所で大きな浸水深になっており、部分的に 4m 弱に達している。また、秋田運河に面した地盤高の低い部分で広い遡上域が認められるが、浸水深は最大で 2m 弱である。その詳細を図-4 に示す。

推定流速による流木衝突力と抗力の分布を図-5(a),(b)に示す。流木諸元は秋田港での平均的な値である  $D = 0.6\text{m}$ ,  $L = 11\text{m}$ ,  $\gamma = 0.7\text{tf/m}^3$  を使い,  $\sigma_f$  として湿潤時の木材の平均的な静的圧縮強度  $\approx 200\text{kgf/cm}^2$  を用いた。流木漂流速度は, 過去の実験より概ね流木長の 20 倍(本ケースでは  $220\text{m}$ ) 以下の流下距離で津波陸上流速と等しくなることが判っており<sup>7)</sup>, 遡上域では流木の漂流速度  $v_{40} \approx$  陸上流速  $u$  として計算している。図-5(a)より流木の衝突力は海側に近いほど大きく, 部分的に  $300\text{tf/本}$  を越える所も見られる。最も危険側を考えているとはいえ, 家屋等に大きな被害を与えると予想される。図-5(b)より, 抗力は最大で  $46\text{tf/m}$  程で, 表-1 より浸水域のほとんどの場所で木造家屋は大破に至り, 運河に面したところではコンクリート・ブロック造も中破以上の被害を受ける危険性があるということが予想される。

6. まとめ ①陸上流速推定式を用いることにより、定常的な津波氾濫流の抗力による家屋被害判断基準を算定した。②数値計算だけでは推定することができなかった氾濫流による抗力やそれに伴う流木の衝突力を推定する一方法を示した。③津波氾濫流そのものよりもそれに伴う漂流物が被害を大幅に拡大する可能性があることを示した。

**謝辞：** 秋田沖の海底地形データを作成する上で、秋田県と東北大学の今村文彦先生から、津波初期波形の計算については京都大学の高橋智幸先生から御助力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

＜文献＞ 1) 松富・飯塚：津波の陸上流速とその簡易推定法, 海岸工学論文集, pp.361-365, 1998. 2) 松富：流木衝突力の実用的な評価式と変化特性, 土木学会論文集, No.621 / II-47, pp.111-127, 1999. 3) 松富・首藤：津波の浸水深, 流速と家屋被害, 海岸工学論文集, pp.246-250, 1994. 4) 松富・大向：津波氾濫流の流体力に関する実験, 海岸工学論文集, pp.336-340, 1999. 5) 後藤・小川：Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 1982. 6) 秋田県：秋田県地震被害想定調査報告書, pp.94-145, 1997. 7) 松本・松富：流木の移動加速距離に関する実験的研究, 東北支部講演概要, pp.262-263, 1998.