

II-51

津波による家屋の被害程度と漂流物の移動速度

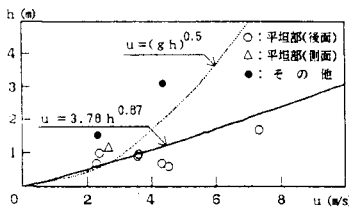
1. まえがき

現地調査に基づき、津波の流速と浸水深、家屋の被害程度と浸水深の関係を、実験に基づき、漂流物の移動速度と流速の関係を論じる。これ等の関係が判れば、津波による家屋等の被害がある程度の確度を持って定量的に推定できることになる。

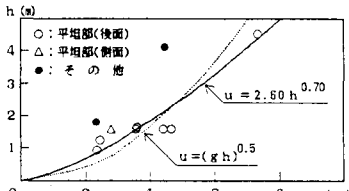
2. 津波の流速と浸水深

実津波の流速と浸水深の関係は検討されたことがない。長波理論からは、流速は浸水深の平方根に比例し、流体力は自乗に比例すると推察される。段波の衝撃波力については、その成立が確認されている。

実津波で得られた流速 u と浸水深 h の関係を図-1(a)と(b)に示す。流速は、流れ方向に見て、家屋等の前面と背面が側面に残された



(a) 背面水深を浸水深とした場合



(b) 前面水深を浸水深とした場合

図-1 実津波の流速と浸水深の関係

ら水位差を割出し、Bernoulliの定理を用いて評価している。(a)と(b)の違いは、浸水深として各々背面（または側面）と前面のものを採用している点にある。白丸はほぼ平坦か、周囲に比べてやや高所の頂部に位置する家屋等から、つまり海水が滞留し難い所で得られたものである。三角は、低い方の浸水深として、側面のものを採用した場合である。黒丸はすぐ背後が崖であったり、周囲が防波堤等で囲まれていて、海水が滞留し易い所で得られたものである。図より、黒丸が孤立していることが判る。背面の浸水深に海水滞留の影響が現れたためであろう。(a)、(b)中の実線は、黒丸を除いた場合の回帰曲線で、各々次式である。

$$u = 3.78h^{0.87} \dots (1a) \quad u = 2.60h^{0.70} \dots (1b)$$

共に h のべき指数が推定値の 0.5 より大きい。式(1a)と(1b)は、データ数が少ない上、流速は津波波形や底

面勾配等に強く依存するかもしれない、暫定的なものである。各図中の破線は Froude 数が 1 の流れを示す。海水の滞留性の弱い所での津波の流れは、限界流に近い射流であることが伺われる。

式(1b)の物理性は式(1a)に比べて劣る。とは言え、既往の津波被害に関する諸検討結果が最大浸水深と関係づけられていることを考えると、浸水深の流速への換算式としては、式(1b)の方が便利だろう。

式(1a)の使い道は存在する。家屋等への抗力を考える場合、浸水部分の投影面積の算定では、前面ではなく、背面での浸水深を用いる必要がある。それは、式(1b)で推定された流速を、式(1a)を変形した次式に代入して推定され得る。

$$h = 0.217u^{1.15} \dots (1c)$$

上記二つの考えに従い、式(1b)と(1c)を用いて、抗力 F_D を家屋等の前面での浸水深のみで表現すれば、

$$F_D = \rho C_D u^2 A / 2 = 2.20 \gamma C_D h^{2.21} B / g \dots (2)$$

ここで、 ρ と γ は流体の密度と単位重量、 C_D は抗力係数、 A と B は浸水部分の投影面積と幅、 g は重力加速度である。抗力は浸水深のほぼ 2 乗に比例しており、長波理論からの推察と合致する。 C_D をパラメータに式(2)の計算例を図-2に示す。 γ は 1.03 tf/m^3 、幅は単位幅を考えている。

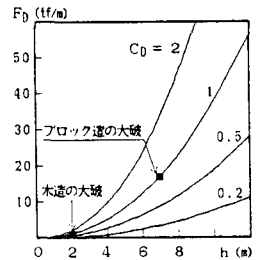


図-2 抗力と浸水深の関係

3. 家屋の被害程度と浸水深

津波高や浸水深の実データは比較的多く、沿岸での津波形態、家屋被害、集落被害、防潮林の効果、漁船・養殖筏の被害、津波の音等との関係が著者らの一人により論じられている。本研究では、家屋被害に的を絞り、北海道南西沖地震津波で得られたデータを加えて、その被害程度と浸水深の関係や被害程度の時間的変遷について論じる。

図-3は家屋の種類別の被害程度と浸水深の関係を示す。黒塗りは北海道南西沖地震津波で、白抜きはそれ以外の津波で得られたデータである。中破とは、壁の大半及び柱の一部が被害を受けたが、柱の補強・付け替えも可能で、修復可能な被害程度をいう。

上段は鉄筋コンクリート造の家屋である。浸水深 5

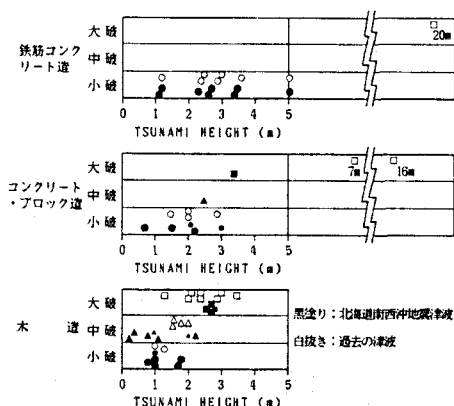


図-3 家屋の種類別被害程度と津波浸水深の関係
mでも、被害は殆ど生じない。北海道南西沖地震津波と過去の津波の被害傾向に違いはない。

中段は煉瓦やコンクリート・ブロック造の家屋である。データ数が少なくて明言はできないが、浸水深が3mを超えると中破以上の被害が始め、7mを超えると大破に至るようである。過去の傾向との目立った違いは見られない。

下段は木造家屋である。浸水深が1.5mを超えると中破に至り、2mを超えると大破に至るようである。過去の傾向との違いは中破で見られ、北海道南西沖地震津波では高々0.25mの浸水深で中破に至っている。

図-3と式(2)により、家屋が大破する時の抗力の計算例を表-1に示す。家屋の平面形状として、ほぼ正方形を考えている。日本の木造家屋は単位幅当たり1tf強の抗力で大破に至るようである。抗力については、黒四角で図-2中にも示してある。

表-1 家屋の種類別の大破に至る流速と抗力

家 屋 の 種 類	流速 (m/s)	抗力 (tf/m)
鉄筋コンクリート造	10.2 以上	16.9 以上
コンクリート・ブロック造	10.2	16.9
木 造	4.2	1.06

4. 漂流物の移動速度

漂流物として、管理上の差し迫った問題で、かつ実験的にも理論的にも取扱が比較的容易なためか、主に流木が研究の対象とされてきた。本研究でも流木を対象とすることにする。

流木衝撃力の評価式として著者ら一人のもの等がある。しかし、肝心の流木の移動速度 u_w と流速 u の関係は検討されたことがない。その関係が判れば、津波の流速と浸水深の関係(2章)や津波数値計算等を通

して、沿岸毎に津波でどの程度の流木移動速度が生じ得るか推定つき、流木衝撃力の評価に有益である。

実験に基づき、流木移動速度の段波諸元及び流木諸元との関係を公表した¹⁾。その実験では流速を測定していないが、段波諸元から理論的に推定される流速を用いれば、流木移動速度の流速及び流木諸元との関係が求められることになる。段波により流木移動速度と流速の関係を求める方法は、流速を測る必要がない上、定常流によるものに比べて、流木も短い移動距離で定常状態に達し得るので、効率的な方法と言える。ただし、下で述べるような問題がないわけではない。

流木の移動速度 u_w に影響する因子として、流木の密度 ρ_w 、 ρ 、 u 、流木長 L 、流木径 D 、 g 等が考えられる。これ等の因子間で次元解析を行い、既報¹⁾の実験値より回帰式を求めれば、次式を得る。

$$u_w = 0.941(\rho_w/\rho)^{-0.0628}(u^2/gD)^{0.727} \cdot (L/D)^{-0.261}(gD)^{0.5} \dots\dots\dots (6)$$

ρ_w/ρ のべき指数が非常に小さい。流木移動速度は流木の密度に殆ど依存しないことが判断される。

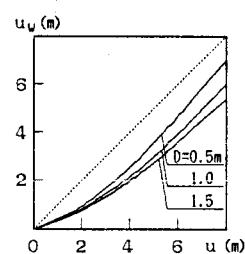


図-4 流木移動速度の変化($L/D=14$, $\rho_w/\rho=0.6$)

式(6)の計算例を図-

4に示す。流木径をパラメータに、流速による流木移動速度の変化を見たものである。図より、細長比、流木径が小さく、流速が大きい時、式(6)は流木移動速度が流速を上回るという矛盾を示すことが判る。この理由として、

回帰式の誘導において、高流速域での実験値の欠如が考えられる¹⁾。その他として、実測流速でなく、段波諸元より理論的に推定された流速を用いていることが考えられる。小流木ほど段波先端部に位置しがちで、そこでの流木は、流速と段波移動速度(>流速)の間の移動速度を持つ可能性があるからである。低流速域での式(6)は傾向的には妥当と思われる。

5. むすび

今回の検討を通して、沿岸各地での津波流体力や漂流物の衝撃力を、ある程度の確度を持って定量的に評価する道筋がつけられたと考える。

謝 辞：本研究の一部は文部省科研費(北海道大学石山祐二教授)によって行われたことを付記する。

《文献》1)松富：土木論文集, No.467, pp.19-28, 1993.