

津波陸上流速の簡易推定法

秋田大学 学員○飯塚 秀則
秋田大学 正員 松富 英夫

1. まえがき 津波による漂流物の衝突力や家屋強度の評価、現地データの信憑性の検討などを行うためには、津波の陸上流速を知る必要がある。よって、本研究では現地調査と実験を通して津波陸上流速の検討を行うと共に、沿岸津波の諸元から陸上流速を推定する方法を考案することを目的とする。

2. 対象陸上流速 抗力が大きく、時間積分効果もあり、漂流物の移動速度に対しても危険側である最大打ち上げ高時の波先端部背後の準定常的な部分を対象とする。

3. 実験 津波はゲート急開流れて模擬した。実験装置の概略を図-1に示す。実験水路は両面ガラス張り鋼製矩形水路で、一様斜面部と水平陸上部及び家屋模型は透明塩化ビニール樹脂板製である。家屋模型の縮尺は1/100とした。フルードの相似則が成立するとすれば、この装置で発生する津波の周期は5～8分である。家屋模型などの概略を図-2に示す。実験ケースをまとめて表-1に示す。なお、流速評価には1点法を採用した。

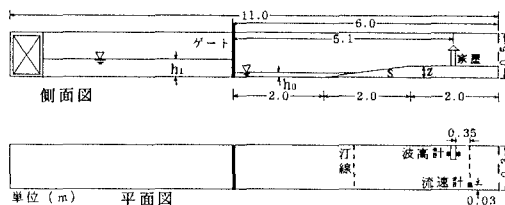


図-1 実験装置の概略

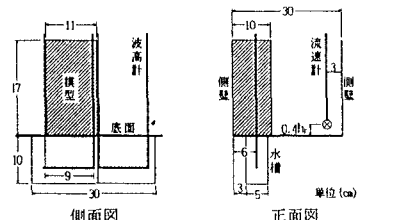


図-2 家屋模型と計測機器配置の概略

表-1 実験条件

斜面勾配 S	一様部水深 h_0 (cm)	貯水深 h_1 (cm)
1/100	1 - 3	7 - 12
1/50	1 - 5	8 - 13
1/30	1 - 7	11 - 16
1/20	1 - 10	14 - 19

4. 実験結果の検討 流速は、流れ方向に見て、家屋模型の前面と背面における浸水深を次式のベルヌーイの定理に代入することで評価する（以下、この流速をベルヌーイ流速と呼ぶ）。

$$u_B = \{2g(h_i - h_r)\}^{0.5} \quad (1)$$

実際の流速 u (プロペラ流速計による測定流速 u_F) はエネルギー損失を受けており、両者の関係は形状損失係数 ζ や流速係数 C_v を導入すると次式で表される。

$$u = (1 + \zeta)^{-0.5} u_B = C_v u_B \quad (2)$$

式(1)より、本実験の家屋模型と開度 ($=1$ -家屋模型幅/水路幅) での C_v や ζ が評価でき、平均的には $C_v = 0.9$, $\zeta = 0.24$ 程度であった。また、無次元流速の推定式として次式を得る。

$$u/(gR)^{0.5} \approx \{2C_v^2 F_r^2 / (F_r^2 + 2C_v^2)\}^{0.5} (h_i/R)^{0.5} \quad (3a)$$

$$u/(gR)^{0.5} \approx F_r (h_i/R)^{0.5} \quad (3b)$$

ここで、 $F_r = u/(g h_i)^{0.5} = C_v F_{rB}$ であり、添字の f と r は模型の前面と背面を表し、 R は津波打ち上げ高である。浸水深と流速の代表的な時間波形例を図-3に示す。先端部背後に準定常的な部分が明

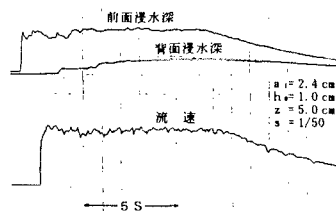


図-3 浸水深と流速の時間波形例

瞭に認められる。流れ先端部は非定常性が強いいためか、ベルヌーイ流速が測定流速よりも5割程度大きい。その差はその後、時間と共に1割程度までに減少し、流速の減衰部でも非定常性が弱いためか、その1割程度の差が維持される傾向にある。よって、先端部以外のベルヌーイ流速と測定流速の一致度はどの段階でも比較的良好と言える。 h_i と h_r の関係は、式(1)と(2)より

$$h_i/h_r = F_r^2 / 2C_v^2 + 1 \quad (4)$$

これによれば、 h_i/h_r はフルード数 F_r に依存する。両者の関係を検討したものを図-4に示す。図中の実線は式(4)である。 h_i/h_r とフルード数に関して現地データに重なり合う部分が存在している。このことは、ゲ

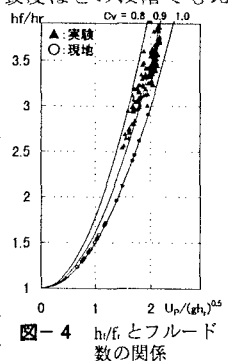


図-4 h_i/h_r とフルード数の関係

ート急開流れでピーク時の津波氾濫を模擬してよいことを示している。これまでの全データの浸水深と流速の関係を図-5 (a)と(b)に示す。図中の実線群は $C_r \approx 0.9$, または $C_r \approx 0.24$ を採用した時の式(3a)と(3b)である。各図中の最も外側の実線は、これまでの現地データでの危険側を考えた時のもので、それぞれ次式である。

$$u/(gR)^{0.5} \approx 1.1(h_i/R)^{0.5} \tag{5a}$$

$$u/(gR)^{0.5} \approx 2.0(h_i/R)^{0.5} \tag{5b}$$

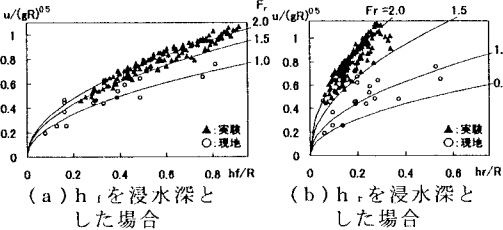


図-5 全データの流速と浸水深の関係

5. 陸上フルード数と沿岸津波諸元の関係

式(3)から明らかなように、浸水深が推定され、陸上フルード数と沿岸津波諸元の関係が判っていれば、そこから陸上流速の推定につながる。そこで、陸上フルード数と沿岸津波諸元の関係を検討する。

(1) 数値計算津波 沿岸から陸上にかけて、波峰付近の流れが定常的と仮定できるならば、エネルギーと質量の保存則から次式を得る(図-6 参照)。

$$F_r \approx [2(H_0 - z - h_i)/h_i(1+f\delta/h_i - h_i^2/H_0^2)]^{0.5} \tag{6}$$

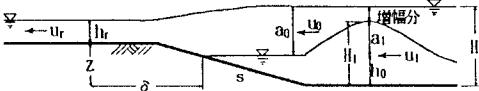


図-6 陸上流れと沿岸津波諸元の関係

ここで $f = 2gn^2/h_i^{1/3}$ の摩擦損失係数、 n はマンニングの粗度係数である。式(6)の有効性を検討するため、図-6に示す簡単な地形下の一次元津波遡上計算を行った。計算に用いた基本式は摩擦を考慮した非線形長波理論式で、計算法はリーブ・フロッグ法である。計算条件を表-2に示す。

表-2 計算条件

項目	諸元	項目	諸元
$\Delta h/\Delta x$	1.0×10^{-5}	z (m)	11に固定
n (m, s)	陸0.05, 海0.01	T (分)	10~60
Δx (m)	25に固定	S	1/25~1/100
Δt (s)	1に固定	δ (m)	50~500
h_0 (m)	10に固定	a_r (m)	1.0~2.5

初期波形は斜面法先から押しで始まる正弦波を与え、入射波流速は $u_r \approx 2\{(gH_0)^{0.5} - (gh_i)^{0.5}\}$ で評価している。式(6)による理論フルード数 F_{r0} と数値計算による

フルード数 F_{r0} との比の回帰式として次式を得た。

$$(F_{r0}/F_{r0})_r = 0.66(s\delta/h_0)^{0.23}(a_r/h_0)^{-0.02}(\sigma/s)^{-0.14}s^{-0.04} \tag{7}$$

ここで、 $\sigma = 2\pi(h_0/g)/T$ の無次元角周波数である。

式(7)とその基になったデータとの比較を図-7に示す。

図から明らかなように、式(7)はデータ値に対して下に凸の傾向を示し、近似度のよい回

帰式とは言えないが、式(7)に津波や地形条件を代入し、そ

の値が1より大きい場合は式(6)を用いてフルード数を評価してよいと判断することができる。式(7)からは、周期と対象地点までの陸上距離が長く、勾配が急な場合に式(6)を用いてよいと判断できる。

(2) 実験津波(ゲート急開流れ) 前節と同じく定常状態を仮定すれば、次式を得る(図-8 参照)。

$$F_r = [2A(K_r)\{H_i/h_i + (1-h_0/H_i)^2(1+H_i/h_0) \cdot (H_i/h_i)/4\} - 2z/h_i - 2]^{0.5}/(1+f\delta/h_i)^{0.5} \tag{8}$$



図-8 陸上流れと段波津波諸元の関係

ここで、 A は入射波エネルギーに対する定常状態になったと見なせる段階での流れのエネルギーの増幅率、 K_r は反射率である。 A を解析的に評価することはできないので、実験的に相対波高と斜面勾配に依存するとして評価し、最終的な半経験式として次式を得た。

$$F_r = [2.96(a_r/h_0)^{0.05}s^{0.01}\{H_i/h_i + (1-h_0/H_i)^2(1+H_i/h_0) \cdot (H_i/h_i)/4\} - 2z/h_i - 2]^{0.5}/(1+f\delta/h_i)^{0.5} \tag{9}$$

ただし、 $0.19 < a_r/h_0 < 5.00$ で、 $n = 0.01$ (m, s単位)

を採用した。実験のフルード数 F_{r0} と式(9)に基づく計算のフルード数 F_{r0} の比較を図-9に示す。ばらつきがやや大きい、フルード数は式(9)でほぼ推定されてよいことが判断される。

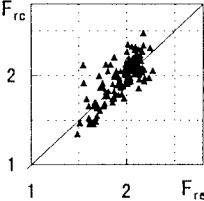


図-9 F_{r0} と F_{r0} の比較

6. むすび

①現地と実験データを用いて津波の浸水深と流速の関係を検討し、沿岸の津波高から陸上流速を推定する方法を示した。②建物の前・背面での浸水位差から流速を割り出す方法は、家屋などが密集した地域を除けば、津波の場合でもほぼ妥当である。

③これまでの現地データの範囲においてであるが、危険側を想定した時の簡便な陸上流速の推定式として式(5)を得た。