

東北大学工学部 正員 岩崎敏夫
東北工業大学工学部 正員 阿部至雄
東北大学大学院 学生員 橋本 繁

1. はじめに 昨年の海岸工学講演会において著者らは、潮汐と河川流のある不斉一断面で、かつ河床勾配と摩擦勾配をもつ河川における津波の計算を特性曲線法を用いて行い、津波の河道内挙動と安定解を得ることに関して一応の成果を示すことができた⁽¹⁾。本論文は、その結果を踏えて、さらに河道特性として、水面幅の変化、河道内貯留および横流出を考慮し計算を行い、実測値と比較することによって計算の実用性や計算に伴う問題点の有無を確かめ、河川津波の特性を明らかにしようとするものである。

2. 計算方法 河川を1次元水路とすると、基本方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = -g \delta - f \frac{|u|}{R} \quad , \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (A u)}{\partial x} = -g \eta \quad \dots\dots\dots (1), (2)$$

ここに u は有次元水理量を意味し、 x は河道距離で基準線に沿って上流に向い正にとり、 t は時間、 h は断面内平均流速で $h = u + v$ (u は波動による流速、 v は河川流速)、 H は断面内最大水深で $H = h + \zeta$ (h は潮汐と津波を侵入させない河川流量 Q のみの背水曲線の深さ、 ζ はその曲線からの津波の偏差)、 A は流水断面積で水面幅 B と H の関数、 R は径深、 g は河道単位長さ当りの横流出量、 δ は河床勾配、 f は摩擦係数で $f = \eta g^2 / R^3$ (η はマンニクの粗度係数、 g は重力の加速度)である。ここで、波速を $c = \sqrt{g H} = \sqrt{g (h + \zeta)}$ で定義し、 λ を同水深、波速および時間の基準値をそれぞれ h_0 , c_0 , $t_0 (= h_0 / c_0)$ とし、次なる無次元量

$$x = x / \lambda, H = H / h_0 = h / h_0 + \zeta / h_0 = h + \zeta, R = R / h_0, u = u / c_0, C = C / c_0 = \sqrt{H / h_0} = \sqrt{h + \zeta}, t = t / t_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

を用いて式(1),(2)を無次元化し整理すると、次なる特性曲線式が得られる。なお、 $c_0 = h_0$ とする。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = u \pm C, u \pm \frac{\partial C}{\partial x} - G \pm t = \text{const}, G_x = -\delta - f \frac{|u|}{R} + \frac{g}{c_0} \left(\frac{\partial h}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g}{c_0} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (\text{ここ } \alpha = 1 / \sqrt{h_0}) \quad \dots\dots\dots (4), (5), (6)$$

従って、境界条件および初期条件を与えれば式(4)~(6)を用いて所要の解を得ることができる。なお今回は、河道断面を水面幅が河道距離に伴って変化する定矩形断面と仮定すると、 $\alpha = 1$ であり、式(4)~(6)は、

$$\frac{\partial u}{\partial t} = u \pm C, u \pm \frac{\partial C}{\partial x} - G \pm t = \text{const}, G_x = -\delta - f \frac{|u|}{R} + C u \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g}{C} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (7), (8), (9)$$

となる。式(7)~(9)の計算の大綱は、Le Méhauté の方法に準拠しており⁽²⁾⁽³⁾、群波あるいは緩波が発生しなくともそれぞれにならう。初期条件は不等流計算によって求められた背水曲線上で流速および波速の初期値を与えるが、境界条件の与え方等の詳細は文献(1)を参照されたい。

3. 計算の実際 解析対象津波は昭和35年千早地震津波、対象河川は旧北上川、解析区間は下流端門脇(河口より上流約1.2km)から上流端和淵(同約22.1km)までの20.9km区間とし、門脇と津波波形を入力大森(同約13.3km)で計算結果と実測記録と比較検証した。表1に水理条件を示した。なお、平均海面は門脇における津波侵入直前の潮汐2波の平均潮位面にとり、下流端水深は門脇における平均海面からの深さ、摩擦係数は門脇での値、河床勾配は昭和47年測量の旧北上川断面図をもとに河床市と最小自來法によって直線近似した勾配を与え、水面幅も同図から計画背水曲線水面幅(H.W.L.上の水面幅)、低水時水面曲線水面幅(M.L.W.L.上の水面幅)およびそれら2つの平均の水面幅を移動平均法によってそれぞれ近似して用いた。河川流量は昭和44年の和淵における水位流量曲線により、また河道単位長さ当りの横流出量は昭和35年千早地震津波当時の石巻市浸水地域図をもとに算定した。

表1. 水理条件

平均海面 M.W.L. (K.P.) (m)	下流端 水深 h_0 (m)	波速 $c_0 = \sqrt{g h_0}$ (m/sec)	時間 $t_0 = h_0 / c_0$ (sec)	粗度係数 η (m^2/sec)	摩擦係数 f	河床勾配 δ	河川流量 Q (m^3/sec)	横流出量 g (m^3/sec)				区間距離 Δx
								右岸	左岸	右岸	左岸	
1.28	6.93	8.24	0.841	0.035	6.30×10^{-3}	1/3540	230	0.230	0.445	0.6 ~2.7	0.8 ~2.4	100

4. 計算結果 (1)水面幅の変化の影響を見るために、計画背水面線水面幅(H.W.L.上の水面幅)、低水時水面曲線水面幅(H.L.W.L.上の水面幅)およびそれら2つの平均の水面幅を用いてそれぞれ計算した結果を図1に示した。第1波と第2波を除いて水位の再現は良く、特に平均水面幅を用いた場合はかなり良く再現している。水面幅は計画背水面線水面幅、平均水面幅、低水時水面曲線水面幅の順に狭くなる(河川流速は津波に対して向い流れ)はこの順に大きくなるので、その影響により波高の減衰もこの順に大きくなるという様子が図1に良く現われている。(2)旧北上川の河道はかなりの広い高水敷があり、そのための河道内野留は無視できないものと思われる。そこで計算ではまず、津波が低水路を進行するものとして得られた水位(見かけの水位)と同断面での1段階前の時間ステップにおける水位および高水敷高と比較し、見かけの水位がこれより高ければ、その水位差に応じた水量が高水敷に野まるものとしてそれに相当する水深を見かけの水位から差し引いて夏の水位を求める。逆に見かけの水位が低ければ、高水敷から低水路への流入量を考えそれに相当する水深を見かけの水位に加えて夏の水位を求める。以上のような簡便法によって計算した結果を図2に示した。押波部で水位はかなり低下するが引波部と若干上昇する。第1波の水位の再現は良くなったが、他は実測値よりかなり低くなった。この点は今後自然野面によって計算するなどの検討が必要である。(3)計算(1)(2)は横流出量をゼロとしているが、昭和35年チリ地震津波時には旧北上川河口上流数kmに渡って越流している。そこで越流区間においてのみ横流出量を考慮して計算した結果を図3に示した。ここで水面幅は平均水面幅とした。計算水位は横流出量をゼロとした場合に比べ高々8cmしか低下しておらず、横流出量の影響は上流の大森付近まではそれほど及んでいない。なお(1)~(3)の計算のいずれも位相の再現は十分とは言えないが、実測記録上の問題もあるようである。第1波を除いて門脇の波高は大森においてかなり減衰しているが、一方第1波は高くなっている。また第1波前の潮汐部の計算水位も実測値よりかなり高い。この点も検討事項であろう。なお大森上流約1.2~2kmおよび5.6~6km地点の平均海面付近で碎波が生じ、前回⁽¹⁾と同様であった。

5. おわりに 今回の河道特性を考慮した河川津波の計算結果から、横流出量の影響は小さいが、水面幅および河床勾配の影響が大きいことがわかった。また、自然断面による計算の必要性和実測津波記録の信頼性などの問題点が指摘されるが、その点をも含めて今後さらに河川津波の特性を検討してゆきたい。最後に、本研究を進めるに際し建設省東北地建北上川下流工事事務所より多大の御支援、御指導をいただいた。また、本計算には、東北工業大学TDBAC440を用いた。ここに記して厚く謝意を表します。

参考文献 (1)岩崎敏夫他:津波の河川遡上に関する数値計算の実験,第23回海議,PP437~442,1976。(2)Le Méhauté,B.etal. "On the wave run-up of solitary waves, ibid 3), 1965。(3)Le Méhauté,B.: On a surge on a dry bed and wave run-up, ibid 3), 1965.

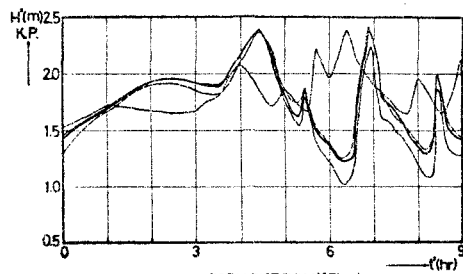


図1 水面幅変化の影響

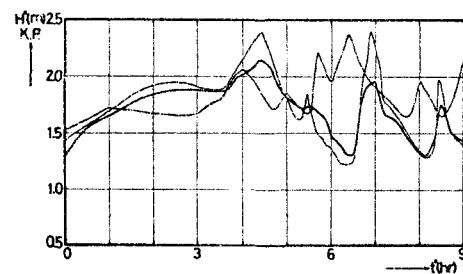


図2 河道内野留の影響

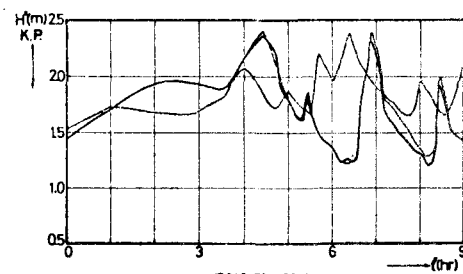


図3 横流出量の影響