

河川津波の特性に関する研究

岩崎 敏夫*・阿部 至雄**・橋本 潔***

1. はじめに

昨年、旧北上川河口区間のような自然河川を対象として、津波の河川遡上に関する数値計算を特性曲線法を用いて行う場合、河川固有流量や潮汐を上下流端境界条件として特別の考慮をはらうことが必要で、これら2要素は顕著な影響を生ずることを発表し、なお、摩擦項や水面幅のとり方についても若干の検討を行った¹⁾。

しかし、実際河川にあっては断面ごとにその形状が極めて著しく変化し、また一断面内でも図-1に例示するように低水位より高水位に至る水面幅の変化は、ことに複断面区間では相当はなはだしく、水面幅に関する検討はなお不十分と考えられる。特性曲線法にあっては自然河川の不定流解析(例: Rossiter)のように変化する断面特性量をそのまま利用することはできないので、水面幅のとり方について本年度は、河道内貯留の効果も考慮してさらに検討を重ねた。また、河岸より堤内地へ横流出する場合の計算も行った。

対象とした津波はチリ地震津波(1960年)であるが、その他に、正弦波および孤立波性非周期波を一波入れて、周期、相対波高、粗度係数、河川固有流量の影響をも検討した。

2. 計算条件

対象河川区間は前報¹⁾と同じ旧北上川門脇より和淵まで、基礎方程式、境界条件および初期条件についても同じである。

表-1は水理条件で、現況の河床高を最小自乗法によ

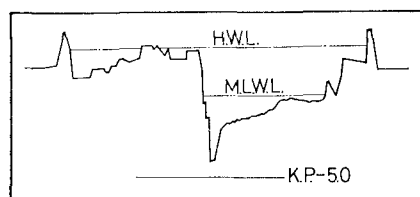


図-1 旧北上川横断面の一例(大森付近)

り直線近似したところ、河床勾配は $1/3540$ となり、これにより上下流端の水深は表のように得られた。この点は昨年度の値と異なるが、区間全体に対する適合性の向上をはかる上で必要と考えられる。河川流量は、昨年用いた $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ は便宜的であったので、和淵における水位一流量曲線を用い h_r^* に対応した値として与えた。

3. チリ地震津波波形による計算

(1) 水面幅の変化の影響

まず水面幅の変化の影響をみるために水面幅として、H.W.L. 上の水面幅、M.L.W.L. 上の水面幅、およびこれら2つの平均の水面幅の3種類を用い、それぞれ図-2に示すように移動平均法により平滑化を行った。なおここでは横流出はないものとした。

図-3に大森における計算結果を示した。図中一点鎖線はH.W.L. 上の水面幅、破線はM.L.W.L. 上の水面幅、実線はこれら2つの平均の水面幅をそれぞれ用いた場合の計算水位を示しており、点線は実測水位である。水面幅の影響はそれほど顕著ではないが、仔細にみた場合、幅が狭いほど水位は低くなっており、摩擦項の影響を示すようである。

(2) 河道内貯留の影響

旧北上川には図-1に示したようになかなり広い高水敷があるので、河道内の貯留効果を考慮した検討が必要と考えられる。いま、河道断面を矩形からなる複断面と仮定し、まず津波が低水路を進行するものとして得られた水位(みかけの水位)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の大小を比較し、その差に応じた水量を高水敷での貯留量あるいは高水敷から低水路への流入量とし、それに相当する水深をみかけの水位から差し引くかあるいは加えることによって、水位を補正し所望の水位を求めた。なお、低水路の幅はM.L.W.L. 上の水面幅、高水敷上の幅はH.W.L. 上の水面幅にとり、また高水敷高はH.W.L. とM.L.W.L. の平均にとった。

図-4に大森における計算結果を示した。図中実線は河道内貯留を考慮した場合、破線は河道内貯留を考慮せ

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科
 ** 正会員 工博 東北工業大学助教授 工学部土木工学科
 *** 学生会員 東北大学大学院 工学研究科

表-1 水 理 条 件

平均海面 SWL* (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)	上流端 水深 h_r^* (m)	河床勾配 S	粗度係数 n^* ($m^{-1/3} sec$)	河川流量 Q^* (m^3/sec)	横 流 出 量 q^* (m^2/sec)		越 流 区 間 (河口からの距離) (km)		区間距離 $\Delta x = \frac{\Delta x^*}{h_0^*}$
								左 岸	右 岸	左 岸	右 岸	
1.28	6.93	8.24	0.841	1.84	1/3 540	0.035	230	0.445	0.230	0.8~2.4	0.6~2.7	100

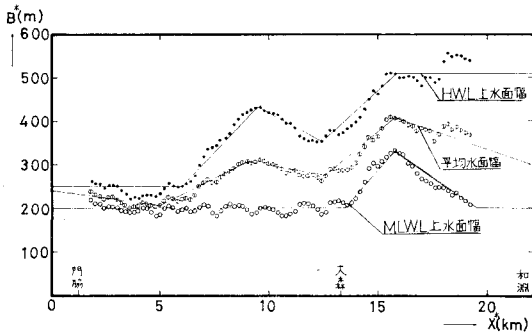


図-2 水 面 幅

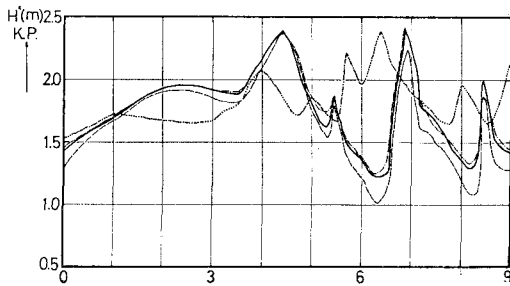


図-3 水面幅の変化の影響

..... 大森における実測水位
 - · - H.W.L. 上の水面幅
 — M.L.W.L. 上の水面幅
 ——— 上記2つの平均の水面幅

} 計算水位

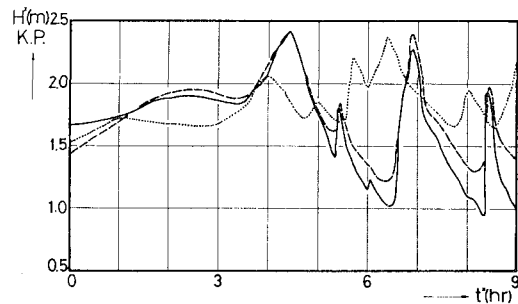


図-4 河道内貯留の影響

..... 大森における実測水位
 - · - 河道内貯留を考慮しない場合
 — 河道内貯留を考慮した場合

} 計算水位

しない場合に比べ津波の押波部、引波部とも水位は低くなる。とくに引波部に与える影響が大きいことがわかる。図-1 に示したように、旧北上川のようなかなり広い高水敷が存在し複雑な断面形をなす河川においては、河道内貯留は無視できない。また、高水敷における河道内貯留について本計算のような方法によって考慮しても、実在の現象を再現できると言える。

(3) 横流出の影響

横流出の影響をみるために、まず次のようにして横流出量を算定した。すなわち、チリ地震津波(1960年)当時の石巻市浸水地域図^{1),2)}をみると、旧北上川河口上流数 km に渡って津波が越流している。そこで、その浸水地域図をもとに右岸左岸別々に、浸水容積を求め、これを越流区間長および最高波(門脇で K.P. 3.073 m, 図-7 参照)が越流区間を通過するのに要する時間で割ることにより、河道単位長あたりの横流出量 q^* を算定した。この横流出量 q^* でもって越流区間においてのみ津波を越流させた。なおここでは、水面幅を平均水面幅とし、河道内貯留は考慮していない。

図-5 に大森における計算結果を示した。図中実線は横流出を考慮した場合、破線は考慮しない場合の計算水位を示しており、点線は実測水位である。計算水位は横流出量をゼロとした場合に比べ高々 8 cm しか低下しておらず、横流出の影響は上流の大森付近まではそれほど及んでいない。しかし、図-6 に示した河道内最高水位によれば、高潮区間(河口より上流 3.9 km までの区間)においては、横流出を考慮した場合、考慮しない場合に比べ最大 20 cm 程度最高水位が低下しており、下流

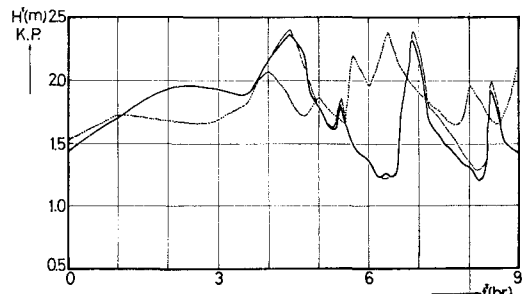


図-5 横流出量の影響

..... 大森における実測水位
 - · - 横流出を考慮しない場合
 — 横流出を考慮した場合

} 計算水位

ず水面幅を平均水面幅とした場合の計算水位をそれぞれ示しており、点線は実測水位である。なおここでは横流出はないものとした。河道内貯留を考慮した場合は考慮

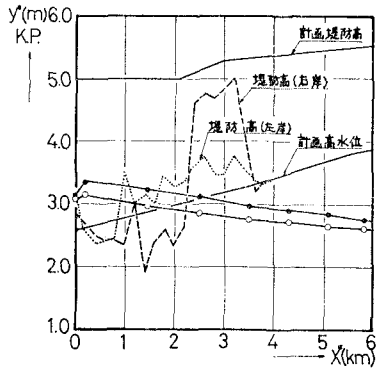


図-6 河道内最高水位

- 横流出を考慮した場合
- 横流出を考慮しない場合

河口部付近においては横流出の影響は大きいと言える。ただし、横流出量は浸水地域図より算出したものであり、また越流状態も定常的な横流出としているので、今後、津波が堤防から越流した場合の災害対策を考える上でも、非定常流出を考慮し検討を加える必要がある。なお、完全越流と考え越流公式³⁾より試算したときの越流係数は右岸で0.12、左岸で0.23であり、天端での越流速度は右岸で0.40 m/sec、左岸で0.78 m/sec程度であったと思われる。

(4) 河川津波の遡上における変形

図-7に河川遡上に伴う津波波形の時間的変化を示した。ここでは水面幅を平均水面幅にとり、河道内貯留および横流出は考慮していない。図中 $x^*=0$ km は門脇、 $x^*=12.1$ km は大森、 $x^*=20$ km は上流端和淵付近に

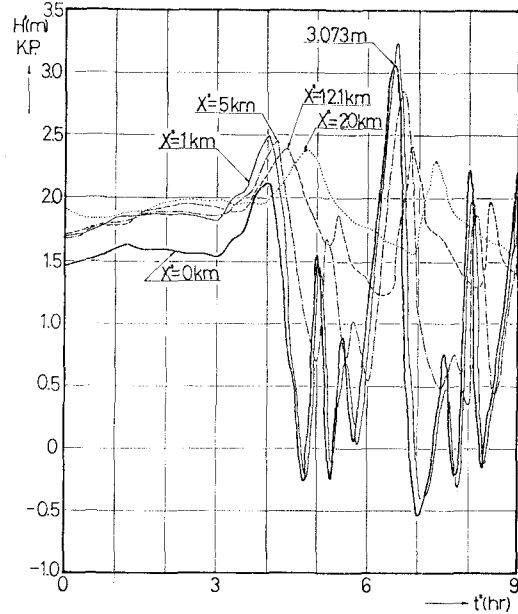


図-7 河川遡上に伴う津波波形の時間的変化

おける波形を示している。

$x^*=1$ km において、津波侵入直前の潮汐波、津波第1波および第4波(最高波)の波高が計算ではかなり増幅している。これは下流側境界において河川流の影響が生じているためかとも思われる。また、第1波の波高はあまり減衰していないが、最高波の波高の減衰は急であり、5 km 付近までで 25% 程度波高は減衰し、さらに上流にゆくにつれて最高水位はほぼ一定となる。津波の引波部は上流にゆくにつれて河床が高くなるため押波部の減衰に比べかなり急に上昇し、潮位面よりも低い波高の第2波、第3波および第5波は消えてしまうということがわかる。

4. モデル波形による計算

モデル波形として、正弦波 $\zeta^* = \zeta^*_{\max} \sin(2\pi t^*/T_0^*)$ 、および孤立波性非周期波 $\zeta^* = \zeta^*_{\max} \sin^2(2\pi t^*/T_0^*)$ の2つを用いた。ここに $\zeta^*_{\max}$ は最大波高、 T_0^* は入力波周期である。ここでは、津波の最大波高に注目し、入力波周期 T_0^* 、入力波相対波高 $\zeta^*_{\max}/h_0^*$ 、河川粗度係数 n^* 、および河川固有流量 Q^* の、最大波高の変化に及ぼす影響についてそれぞれ調べた。なお、パラメータの設定に関していずれの場合もチリ地震津波との対応を考慮している。また、水面幅は平均水面幅とし、河道内貯留および横流出は考慮していない。

図-8はモデル波形として正弦波を用い入力波周期 T_0^* をパラメータとした場合、図-9、図-10および図-11は孤立波性非周期波を用いパラメータをそれぞれ、入力波相対波高 $\zeta^*_{\max}/h_0^*$ 、河川粗度係数 n^* および河川固有流量 Q^* とした場合の最大波高の遡上距離に伴う変化を示している。また図中にチリ地震津波の最高波の波高の変化をも同様に示した。門脇における実測記録(図-7参照)によれば、チリ地震津波の周期は30分ないし60分(最高波は60分)、最高波の相対波高は0.259であり、表-1に示したようにチリ地震津波波形による計算に用いた粗度係数は $0.035 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{sec}$ 、河川固有流量は $230 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。

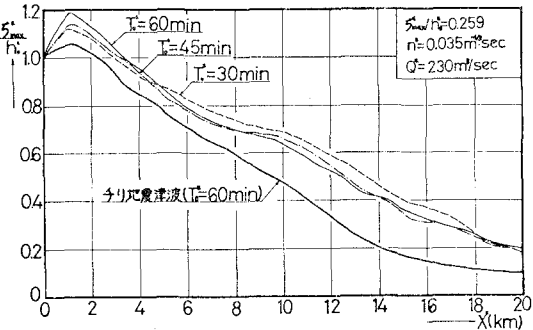


図-8 入力波周期 T_0^* の影響

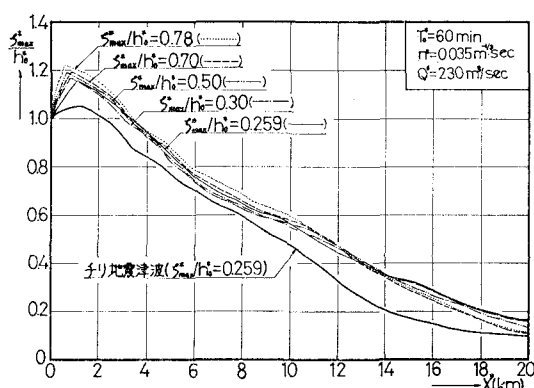
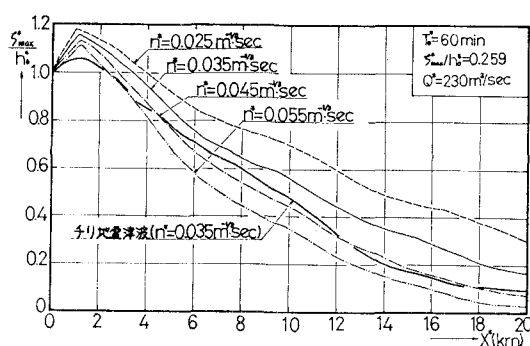
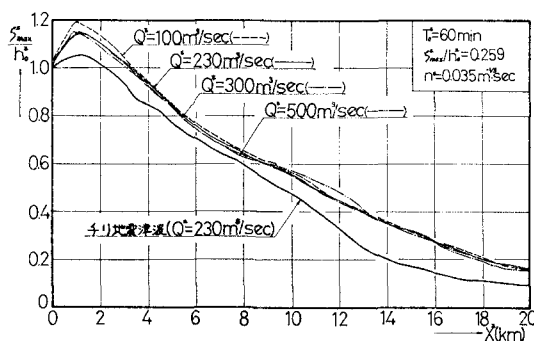
図-9 入力波相対波高 $\zeta^*_{\max}/h_0^*$ の影響図-10 河川粗度係数 n^* の影響図-11 河川固有流量 Q^* の影響

図-8 ないし 図-11 より、いずれの計算結果もチリ地震津波の計算結果にみられるように、 $x^*=1$ km 付近において波高が 20% 程度増幅しており、増幅率はモデル波形の場合の方がチリ地震津波よりも大きく、また増幅後の減衰の様子は、10 km 付近まではほぼ平行に変化しており、 $x^*=1$ km における増幅率の両者の差分だけ、モデル波形の場合の方がチリ地震津波よりも減衰率は小さい。図-8 より入力波周期の影響について考察すれば、 $x^*=1$ km における増幅率は周期が長いほど大きく、またその後の減衰率は 5 km 付近までは周期が短い

ほど大きく、上流にゆくにつれて逆に周期が長いほど大きくなる傾向をもつことがわかる。

入力波相対波高については、チリ地震津波の最高波の相対波高よりも大きい値について検討したが、図-9 よりわかるように、入力波相対波高の波高変化に及ぼす影響はそれほど顕著に現われていない。一方図-10 より、河川粗度係数の影響はかなり顕著であると言える。また図-11 より、河川固有流量の影響についてみると、河川固有流量が大きいほど波高の減衰は大きい傾向をもつが、その影響はそれほど顕著ではない。したがって、モデル波形を用いた計算によれば、粗度係数の波高変化に及ぼす影響は非常に顕著であるのに対し、周期、相対波高および河川固有流量のそれはあまり顕著ではないと言える。

5. おわりに

河川津波のもつ特性について検討したところ、旧北上川区間で行なった計算範囲においては次のような結果が得られた。

(1) 河川に侵入した津波は、河口付近において波高を増幅した後に急激に減衰し、上流にゆくにつれて最高水位はほぼ一定となる。また、津波の引波部は上流にゆくにつれて河床が高くなるために押波部の減衰率に比べて上昇の度合は急となる。そのために潮位面よりも低い波高の津波は消滅してしまう。またこのことより、河床勾配の影響も大きいと考えられる。

(2) 粗度係数の影響は顕著であったが、水面幅、河川固有流量、津波の周期および相対波高の影響はそれほど大きくはなかった。また、横流出の影響は河口付近において生じた。

前報¹⁾とも併せて考察すれば、河川津波は非線形性が強く、地形変化および底面摩擦などもほぼ同じオーダーでその特性に関与していると思われるので、一般的な結論を得るにはまだ不十分と考えられる。今後は、旧北上川とはスケールの異なる河川などを対象とし、各河川特有の現象を考慮しながら河川津波の研究を進める必要がある。

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 TOSBAC 3400 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・阿部至雄・橋本 潔：津波の河川遡上に関する数値計算の実験，第 23 回海岸工学講演会論文集，pp. 437~442, 1976.
- 2) 亀井 勇：市街地の湛水分布と建物の被害，チリ地震津波報告書，宮城県，pp. 15~23, 1961.
- 3) 土木学会編：水理公式集，265 p., 1971.