

湾曲部の河道形状が河川津波の遡上に及ぼす影響に関する実験的検討

(国研) 土木研究所 正会員 ○石神孝之 正会員 本山健士 正会員 笛田俊治

1. はじめに

東日本大震災においては、海岸部の被害だけでなく、河川を遡上・流下した津波（河川津波）によって、河川堤防等及び沿川流域で甚大な被害が生じた。このため、今後の河川管理においては、洪水や高潮だけでなく津波を計画的防御の対象として位置づけられることになり、検討や研究・開発が必要な事項として、堰や水門のゲート設計を行う際に必要となる河川津波の流体力を求める計算手法等の開発を進める必要があるとされている¹⁾。本研究は、改訂が予定されている「ダム・堰施設技術基準（案）」において例示される河川津波を設計外力とした場合に水門・樋門等のゲートに作用する波力（波高）について、湾曲部の河道形状（平面および横断）による影響を考慮して算定することを目的に、水理模型実験を行って検討した。

2. 実験概要

検討に用いた水路は、幅 1.5m、長さ：湾曲水路 44.5m、直線水路 51m の二次元水路部分とゲートによって仕切られた貯水槽部分（幅 1.5m、長さ 15m）からなるコンクリート製のものをを用いた（図-1）。仕切りゲートはコンプレッサーによって引上げられる方式とし、段波～波状段波（ソリトン分裂）～碎波の一連の津波変形を再現できる機能を有する。縦段勾配 $I=1/100$ とし、湾曲部は曲率 $r/b=5.0$ で、湾曲角 $\theta=90^\circ$ とした。

また、水路下流端の水深 $h_0 \approx 40\text{cm}$ に湛水し、仕切りゲートの急開（引上げ速度 $\approx 0.35\text{m/s}$ ）によって段波を発生させた。また、波高、流速、波圧の計測は約 70 秒

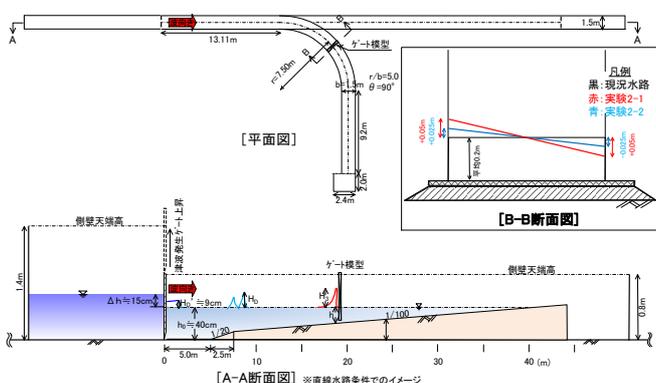


図-1 実験水路概要

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	水深 (cm)	Δh (cm)	平面形状	断面形状	ゲート開度
実験1	27-1-1	17.5	湾曲 ($\theta=90^\circ$) ($r/b=5.0$)	単断面	ゲートなし
	27-1-2				0.0
	27-1-3				0.4
	27-1-4				1.0
	27-1-5	12.5			ゲートなし
	27-1-6				0.0
	27-1-7				0.4
	27-1-8				1.0
実験2	27-2-1	40.0	湾曲 ($\theta=90^\circ$) ($r/b=5.0$)	左右岸 $\pm 2.5\text{cm}$	ゲートなし
	27-2-2				0.0
	27-2-3				0.4
	27-2-4				1.0
	27-2-5			左右岸 $\pm 5.0\text{cm}$	ゲートなし
	27-2-6				0.0
	27-2-7				0.4
	27-2-8				1.0

間の同期測定（サンプリング間隔=100Hz）を行うとともに、最大遡上高を目視にて計測した。実験ケースの一覧を表-1に示す。

3. 実験結果

3.1 造波条件（入力波の大きさ）が異なる場合の河道平面形状の河川津波への影響検討

過年度実施した²⁾貯水槽水深 $h_1 \approx 55.0\text{cm}$ から 57.5cm ($\Delta h \approx 17.5$) および 52.5cm ($\Delta h \approx 12.5$) に変化させて実験をおこなった。ゲート模型（木製）をこの水路全幅で波向き（水路長手方向）に直角方向で碎波点近傍の 19.0m （静水深 $h=16.0\text{cm}$ ）の箇所を設置し、ゲート開度毎（対静水深比とした開度 $a/h=0, 0.4, 1.0$ とゲート無の計4条件）とした。

ゲートなしのケースの碎波状況については、 $\Delta h \approx 12.5$ では内外岸ともに碎波前にゲート位置に到達するのに対し、 $\Delta h \approx 17.5$ では内岸側は碎波前に、外岸側は碎波後にゲート位置に到達した。最大波高を縦断距離で整理した結果を図-2に示す。これらを比較すると、初期水位が同一で入力波高が異なる場合、波高のピーク位置および継続距離は異なる（入力波高が小さい方がより短区間となる傾向）。これは、碎波位置が波高/水深で決まることと整合しており、初期水位と入力波高の関係によっては、波高が小さい場合の方が最大波高が高くなる場合もあり得ることが懸念された。

ゲート全閉（開度 $a/h=0$ ）のケースの最大波高を縦断距離で整理した結果を図-3に示す。これらを比較すると、ゲートなしの場合の最大波高のピーク差よりさらに顕著な違いがみられる。これは、前述した碎波と

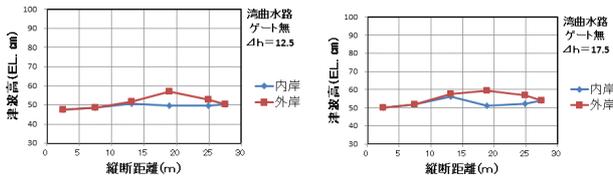


図-2 最大波高 (Δh≒12.5,17.5 ゲートなし)

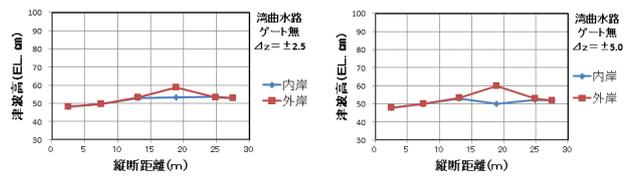


図-5 最大波高 (±2.5, 5.0 ゲートなし)

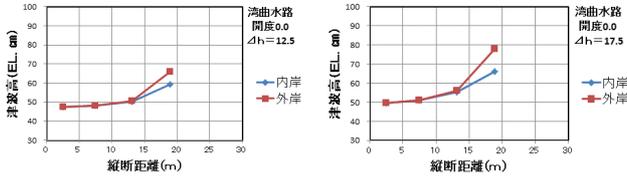


図-3 最大波高 (Δh≒12.5, 17.5 ゲート開度0(全閉))

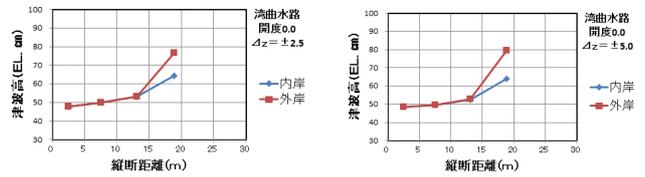


図-6 最大波高 (±2.5, 5.0 ゲート開度0(全閉))

ゲートの位置関係によるものと考えられる。

3.2 河道断面形状の河川津波への影響検討

実河道の湾曲部では、流速等の影響により、横断方向に平らな断面である場合は少なく、外岸側の河床が低くなっていることが多い。このような湾曲部の河道断面形状が及ぼす影響を評価するために、図-1のB-B断面に示す通り、±2.5cm、±5.0cmの勾配をつけて実験をおこなった。断面のすりつけは図-4のとおり、湾曲部の始点から終点ですりつく形状とした。

ゲートなしの場合の砕波状況は、±2.5では内岸は砕波前に、外岸は砕波直後にゲート位置に到達するのに対し、±5.0では逆に、内岸側は砕波後に、外岸側は砕波前にゲート位置に到達し、波向が外岸側に向いていることが確認された。最大波高を縦断距離で整理した結果を図-5および図-6に示す。これらを比較すると、砕波前後であるという違いに比して、これまでのケースのような特筆すべき差異は今回の実験では把握できなかった。

4. まとめ

過年度および今年度の実験的検討から、ゲート設計を行う際に必要となる河川津波の波力(波高)の算定では、実験水路の諸元の条件下において湾曲部の内岸側と外岸側で概ね2倍程度の違いがあること、断面形状が異なった場合には砕波状況に変化が生じるものの、その影響は内外岸の差と比して微少であることから、河道形状の影響については、特に平面形状を適切に反映させる必要があることがわかった。また、砕波とゲートの位置関係も重要であることから、例えば、河川堤防の設計に用いられる朔望平均満潮位以下の水位についても、設計条件として設定する必要性が示唆された。

5. 今後の課題

堰や水門のゲートに作用する外力については、扉体の浮き上がりが生じる可能性のあるシェルタイプのゲートに作用する流体力に関する検討、「ダム・堰施設技術基準(案)」において別途例示される予定である流速(フルード数)をパラメータとする波力に関する適用性の検討等を行う必要がある。

また、上述した水位の設計条件とも関連して、低潮位時に河川津波が遡上する際の高速流に対する河口付近の堤防護岸や護床工の設計に用いる外力について、検討を行う必要が示唆された。

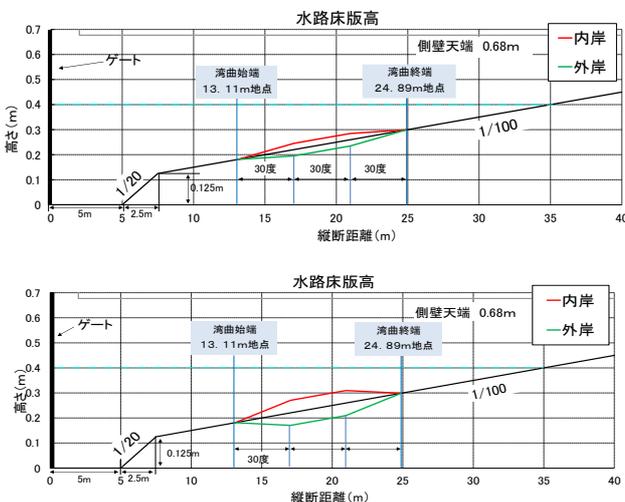


図-4 断面すりつけ模式図

参考文献

- 1) 東日本大震災を踏まえた堰・水門等の設計、操作のあり方について、2011.9
- 2) 坂野章、箱石憲昭、石神孝之：河川湾曲部を遡上する津波特性に関する実験的検討、土木学会第70回年次学術講演会概要集第Ⅱ部門、2015.9