

## 河口近傍における河川津波の数値解析

鹿兒島大学工学部 学生会員 ○小野木 佑徳  
 鹿兒島大学学術研究院 正会員 柿沼 太郎  
 鹿兒島県土木部 楠原 嘉

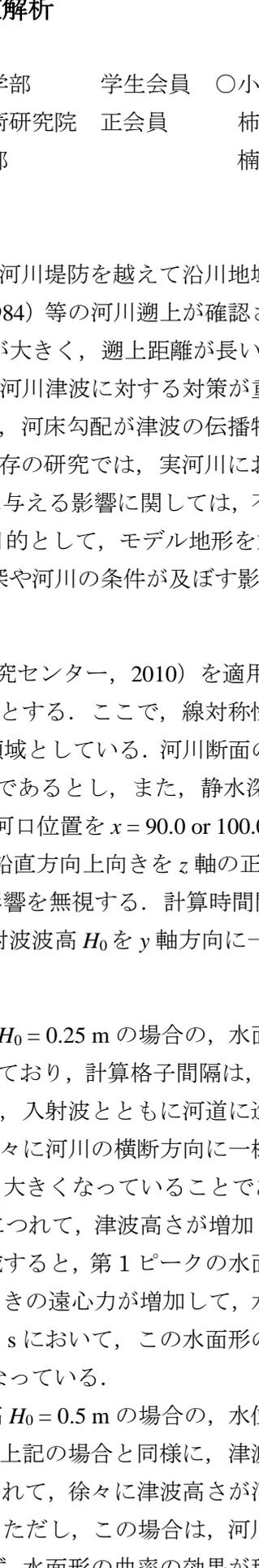
### 1. 研究の目的

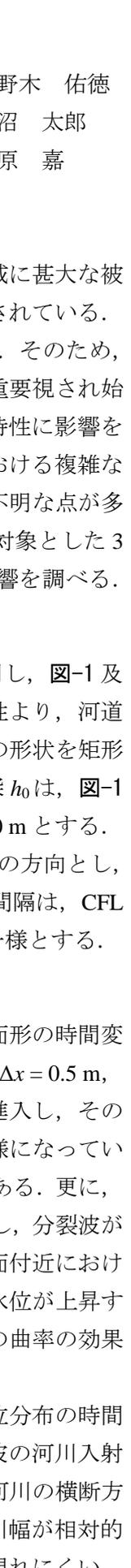
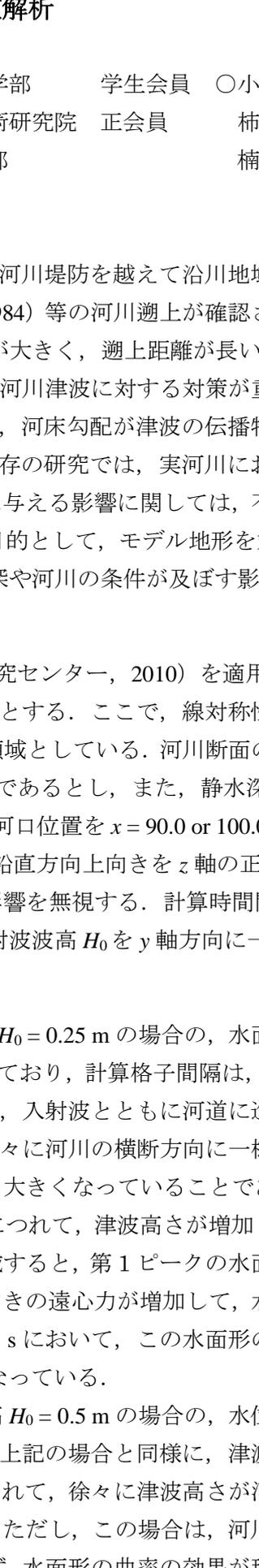
2011 年東日本大震災では、沿岸域に到達した津波が河川を遡上し、河川堤防を越えて沿川地域に甚大な被害をもたらした。これ以前にも、1983 年日本海中部地震津波（首藤，1984）等の河川遡上が確認されている。こうした河川津波は、一般に、陸上を遡上する津波に比べて伝播速度が大きく、遡上距離が長い。そのため、沿岸域から遠く離れた内陸域にも、被害が拡大する危険性が指摘され、河川津波に対する対策が重要視され始めている（河川津波対策検討会，2011）。河川津波に関して、これまで、河床勾配が津波の伝播特性に影響を及ぼすこと等が明らかにされてきた（e.g. 茅根ら，2014）。ただし、既存の研究では、実河川における複雑な現象を対象とすることが多く、入射波や河川の各条件が、津波の伝播に与える影響に関しては、不明な点が多い。そこで、本研究では、河川津波の基礎的な特性を把握することを目的として、モデル地形を対象とした 3 次元数値解析を行ない、特に、河口近傍における津波に対して、静水深や河川の条件が及ぼす影響を調べる。

### 2. 数値解析手法及び条件

数値モデルとして、CADMAS-SURF/3D（有川ら，2005；沿岸技術研究センター，2010）を適用し、-1 及び -2 に示すような河道を有する河川における 3 次元流体運動を対象とする。ここで、線対称性より、河道の中央線を完全反射境界とし、河道中央線から右岸側のみを計算対象領域としている。河川断面の形状を矩形とし、一様単断面の河川を対象とする。本研究では、河川幅  $W$  が一様であるとし、また、静水深  $h_0$  は、-1 に白色で示す海域及び河川域で一様とする。造波位置を  $x = 0.0 \text{ m}$  とし、河口位置を  $x = 90.0 \text{ or } 100.0 \text{ m}$  とする。海域及び河川上流端の境界には、Sommerfeld の放射条件を適用する。鉛直方向上向きを  $z$  軸の正の方向とし、静水位を  $z = 0.0 \text{ m}$  とする。簡単のために、底面摩擦及び河川流量の影響を無視する。計算時間間隔は、CFL 条件を満足するよう自動的に決定される。入射波は、孤立波とし、入射波波高  $H_0$  を  $y$  軸方向に一様とする。

### 3. 数値解析結果

-3 に、河川幅  $W = 20.0 \text{ m}$ 、静水深  $h_0 = 2.5 \text{ m}$ 、そして、入射波波高  $H_0 = 0.25 \text{ m}$  の場合の、水面形の時間変化を示す。ここで、河道中央線を含む  $x$  軸と、河岸に沿った結果を示しており、計算格子間隔は、 $\Delta x = 0.5 \text{ m}$ 、 $\Delta y = 1.0 \text{ m}$  及び  $\Delta z = 0.05 \text{ m}$  である。時刻  $t = 30.0 \text{ s}$  において、回折波が、入射波とともに河道に進入し、そのため、水位が河口近傍の河岸付近で増加している。その後、水面形が徐々に河川の横断方向に一様になっていくが、注目すべきは、時刻  $t = 60.0 \text{ s}$  において、津波高さが入射波よりも大きくなっていることである。更に、津波の伝播過程において、水面形の第 1 ピークの曲率半径が低減するにつれて、津波高さが増加し、分裂波が第 1 ピークの背後に生成される。水面形の第 1 ピークの曲率半径が低減すると、第 1 ピークの水面付近における水粒子の軌道の曲率半径が低減し、上に凸の軌道において、鉛直上向きの遠心力が増加して、水位が上昇する。逆に、水面形の波谷では、水位が低下する。そして、時刻  $t = 90.0 \text{ s}$  において、この水面形の曲率の効果により、第 1 ピークの津波高さが、 $t = 60.0 \text{ s}$  のときよりも更に大きくなっている。

-4 に、河川幅  $W = 100.0 \text{ m}$ 、静水深  $h_0 = 3.0 \text{ m}$ 、そして、入射波波高  $H_0 = 0.5 \text{ m}$  の場合の、水位分布の時間変化を示す。計算格子間隔は、 $\Delta x = \Delta y = 2.0 \text{ m}$  及び  $\Delta z = 0.1 \text{ m}$  である。上記の場合と同様に、津波の河川入射直後、河岸付近で水位が高くなっている。その後、津波が伝播するにつれて、徐々に津波高さが河川の横断方向に一様になり、一様になった津波高さは、入射波波高よりも大きい。ただし、この場合は、河川幅が相対的に大きいため、-3 に示した場合ほど津波高さの増加率が大きくなり、水面形の曲率の効果が現れにくい。

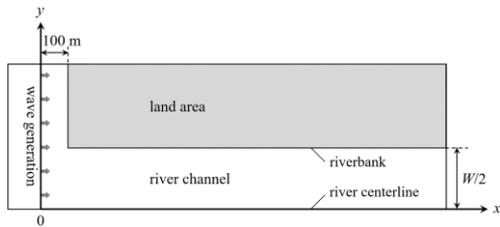


図-1 計算対象領域の平面図

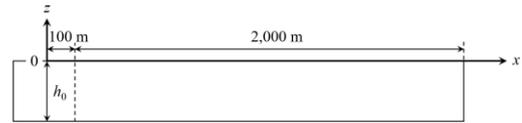


図-2 計算対象領域の側面図

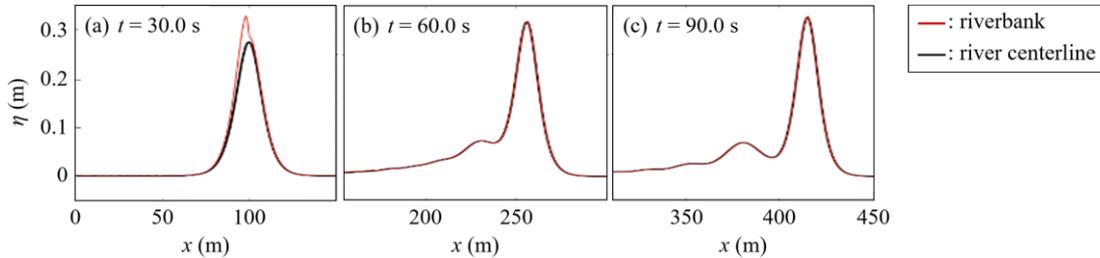


図-3 河道中央線を含む x 軸及び河岸に沿った水面形の時間変化 ( $W = 20.0$  m,  $h_0 = 2.5$  m,  $H_0 = 0.25$  m)

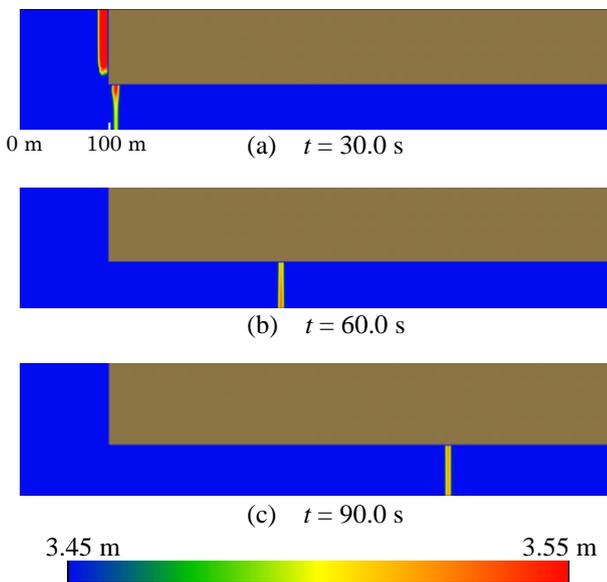


図-4 各時刻における水位分布  
( $W = 100.0$  m,  $h_0 = 3.0$  m,  $H_0 = 0.5$  m)

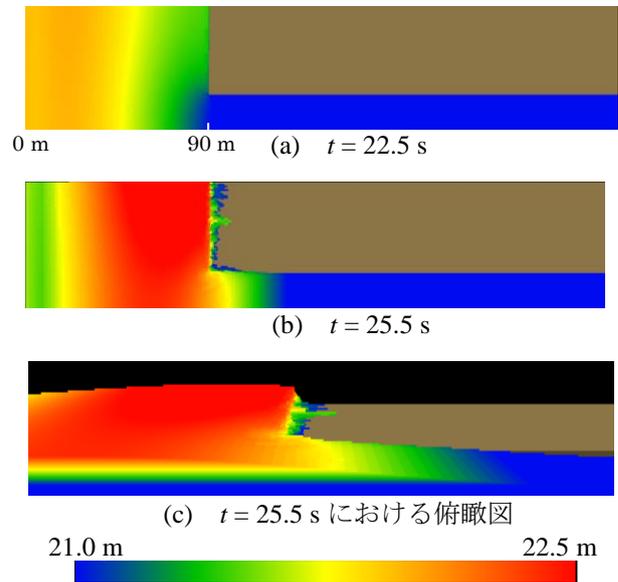


図-5 各時刻における水位分布及び水面の俯瞰図  
( $W = 40.0$  m,  $h_0 = 20.0$  m,  $H_0 = 2.0$  m,  $H_{land} = 21.0$  m)

上記の場合では、いずれも、海岸及び河岸の堤防高さを十分高くして、津波の陸上遡上を考慮していなかった。図-5 に、津波が河口近傍において陸上遡上する場合のシミュレーション結果を示す。ここで、河川幅  $W = 40.0$  m、静水深  $h_0 = 20.0$  m 及び入射波波高  $H_0 = 2.0$  m であり、また、陸域の高さを  $H_{land} = 21.0$  m としている。計算格子間隔は、 $\Delta x = 2.0$  m 及び  $\Delta y = 1.0$  m とし、他方、 $\Delta z$  は、 $0.05$  m ~  $2.0$  m の範囲で鉛直方向に変化させている。時刻  $t = 22.5$  s において、海岸堤防前面で津波の反射が始まっており、河道内の水位が海岸堤防付近より低い、これは、図-3 及び図-4 に示した場合と同様の現象である。しかしながら、時刻  $t = 25.5$  s において、津波の陸上遡上が生じており、特に、河道からの津波の陸上遡上により、河口近傍の河岸付近における、入射波波高に対する水位の増加率は、図-3 及び図-4 に示した場合ほど大きくなっていない。

参考文献

有川太郎・山田文則・秋山 実: 3次元数値波動水槽における津波波力に関する適用性の検討, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 46-50, 2005.  
 沿岸技術研究センター: CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発, 沿岸技術ライブラリー, No. 39, 235p., 2010.  
 河川津波対策検討会: 河川への遡上津波対策に関する緊急提言, 2011. <http://www.mlit.go.jp/common/000163992.pdf>, 2011.  
 茅根康佑・盧 敏・田中 仁・梅田 信・真野 明・佐々木幹夫・川越清樹・土屋十圀・三戸部佑太: 東北三県における津波の河川遡上特性, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 70, No. 4, pp. I\_1165-I\_1170, 2014.  
 首藤伸夫: 秋田県北部海岸における日本海中部地震津波, 海岸工学講演会論文集, 第31巻, pp. 247-251, 1984.