

河川に浸入した津波により引き起こされる 浸水域に関する数値的考察

Numerical study on inundation area caused by Tsunami runup in river

北開水工コンサルタント ○ 正会員 小柳 聡 (Satoshi KOYANAGI)
北海道開発土木研究所 正会員 安田 浩保 (Hiroyasu YASUDA)
北海道開発土木研究所 正会員 渡邊 康玄 (Yasuharu WATANABE)

1. はじめに

我が国の太平洋岸各地は、M8.0を超える巨大な地震とそれに伴う津波に周期的に襲われている歴史を有している。近い将来、このような巨大地震が近代化後はじめて発生することが予想されており、地震・津波に関する対策が講じられている。このような津波のもとでは、沿岸域はもとより河川を遡上した津波によって河川に沿った地域においても甚大な被害の発生が予想される。例えば、2004年末に発生したスマトラ沖大津波によってスリランカの南西部では河川に沿った住居地区が壊滅的な被害を受けたことが報告されている¹⁾。

河川を遡上する津波に関する研究は、岩崎ら²⁾、後藤ら³⁾、安田ら⁴⁾などによって行われているが、これらはいずれとも河川に浸入した津波の河道内における波動的な振る舞いを捉えようとしたものにすぎない。前述の通り、河川を遡上する津波による被害例もあり、このようにして発生する浸水域に関する議論は不可欠であると考えられる。本文は、数値実験によって、河川由来の浸水域の規模やその範囲に関する定量的な評価を試みるものである。

2. 数値モデル

本文において実施する数値実験では、浅水理論式に基づく平面2次元解析を主に利用するが、一部、河道部における初期水位と単位幅流量の設定には定常流の1次元漸変流解析を併用している。この常微分方程式の数値解析にあたっては過緩和法を適用し、その数値解を得た。

(1) 平面2次元解析の支配方程式

平面2次元での x, y 方向の浅水理論式、連続の式はそれぞれ、

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{M^2}{D} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{MN}{D} \right] + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{gn^2 M}{D^{7/3}} \sqrt{M+N} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{MN}{D} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{N^2}{D} \right] + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\frac{gn^2 N}{D^{7/3}} \sqrt{M+N} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

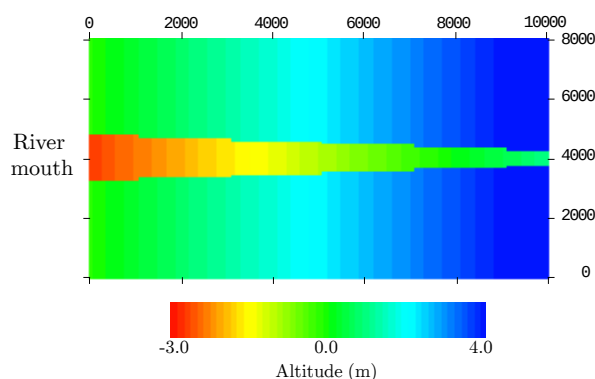


図-1 実験で利用した地形の平面図

である。ここに x, y は平面での座標、 M, N はそれぞれ x, y 方向の流量フラックス、 t は時間座標、 D は水深、 η は水位、 h は水深、 n は Manning の粗度係数である。

上記の偏微分方程式群の数値解析にあたっては差分法を適用し、差分スキームには Staggered Leap-frog 法と1次精度風上差分法を併用した。

3. 数値実験

(1) 対象地形・実験条件

本研究では数値実験を図-1に示した地形を数値的に生成して実施した。この仮想地形の規模は同図に示すとおりで、氾濫原の勾配 i_F 、河道内の勾配 i_R とともに $1/2,500$ としている。また、同地形内の河道は、表-1に示した3種類の無堤掘込み河道を設定した。

水理的な条件は、河道内の定常流量を3パターン、周期を20分に固定した津波の波高を3パターン変化させる、合計27ケースを実施した。

(2) 初期条件、境界条件

図-1に示した仮想地形のうち、河道内に関しては Q_{rv} に応じて1次元漸変流解析から求められる水位、および x 方向の流量フラックスを初期条件として与えた。

境界条件は、河道の上流端から河川の定常流量、河口部において $\sin^2$ の波形で津波を強制入射した。それ以外の氾濫原の計算領域境界は完全反射境界とした。粗度係数 n には全域で 0.025 を与えた。

(3) 実験結果

実施した27ケースの数値実験の結果を図-3(a), (b)に示すとおりまとめた。図中の Q_{rv} は1から順にそれぞれ河川流量 $0, 250, 500 \text{ m}^3/\text{s}$ 、RF は1から順に水

表-1 設定した水理的条件と河道形状

Case	Discharge Q_{rv} (m ³ /s)	Channel Width (m)		Tsunami Height (m)	T_w (min.)	i_R	i_P
		Lower	Upper				
1	0	200	200	1	20	1/2500	1/2500
2				2			
3				3			
4		500	200	1			
5				2			
6				3			
7		1500	500	1			
8				2			
9				3			
11	250	200	200	1	20	1/2500	1/2500
12				2			
13				3			
14		500	200	1			
15				2			
16				3			
17		1500	500	1			
18				2			
19				3			
21	500	200	200	1	20	1/2500	1/2500
22				2			
23				3			
24		500	200	1			
25				2			
26				3			
27		1500	500	1			
28				2			
29				3			

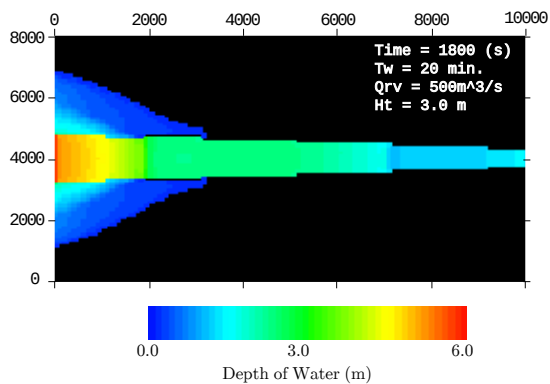


図-2 解析結果の一例

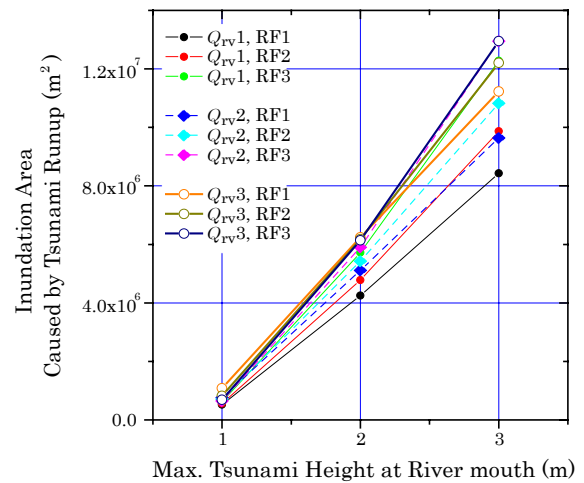
路の下・上流端幅 200-200, 500-200, 1500-500m の組合せを示している。

まず、同図 (a) に示した浸水面積と河道の平面形状や水理条件との関係であるが、RF に応じて浸水面積が拡大していることが分かる。また、 Q_{rv} が小さいほどに RF による差が大きくなる傾向にあり、 Q_{rv1} では RF1 と RF3 の差異は 1.5 倍以上に達していたことが示された。なお、RF3 では Q_{rv} の規模にかかわらず浸水面積がほぼ等しくなった点も興味深い。

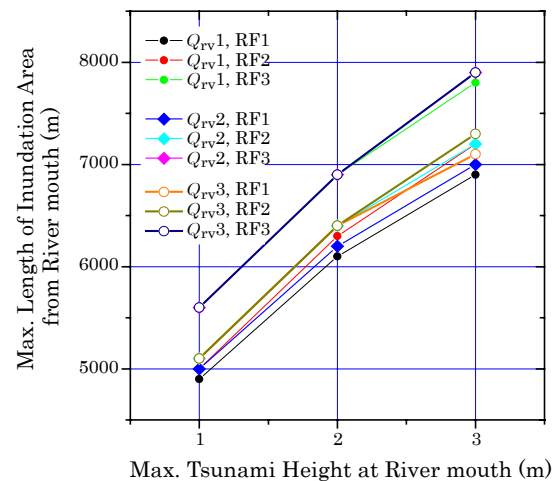
つぎに、同図 (b) に示した浸水域の河口からの最遠点についてであるが、最遠点は RF によって規定される関係があることが見て取れる。特に、RF3 の場合では Q_{rv} の規模にかかわらず最遠点の位置が非常に良く一致する結果を得た。

4. おわりに

本文では、これまでにほとんど実施された例がない津波の河川遡上に伴い発生する浸水域の規模の定量的な評価を数値実験によって明らかにすることを試みた。



(a) 浸水面積



(b) 浸水域の最遠点

図-3 河口で与えた津波の最大波高と浸水面積・最遠点の関係

その結果、河川流量よりも河道の平面的な形状が浸水面積やその最遠点の位置を決定するうえで支配的であることが示された。ただし、これらの数値実験は氾濫原勾配と河床勾配を固定して無堤堀込み河道のみを対象として実施されたものであるため、さらに今後の検討の余地が残されている。

謝辞：本研究は、国土交通省北海道開発局、同省同局帯広開発建設部からの支援を受けて実施されている。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 田中 仁, 中川 一, 石野和男, 矢野真一郎, Bandara Nawarathna, 安田 浩保, 渡邊康玄, 長谷川和義: スマトラ沖地震津波によるスリランカでの被害に関する現地調査-河川被害を中心として-, 水工学論文集, Vol.50, 2006 (印刷中)。
- 2) 岩崎 敏夫, 阿部 至雄, 橋本 潔: 河川津波の特性に関する研究, 第 24 回海岸工学講演会論文集, pp.74-77, 1977。
- 3) 後藤 智明, 首藤 伸夫: 河川津波の遡上計算, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp.64-68, 1981。
- 4) 安田 浩保, 渡邊 康玄: 河川を遡上する津波に関する数値的研究, 水工学論文集, Vol.49, pp.1327-1332, 2005。