

新潟市における津波の河川遡上に伴う危険性の評価

新潟大学工学部 学生員○小関 博司
 新潟大学災害・復興科学研究所 正員 安田 浩保
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 星野 剛
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 西家 健宏

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は我が国の観測史上最大のM9.0に達し、この地震によって極めて大規模の津波が発生した。震源域に近い東北地方の太平洋岸では海岸から数kmにわたる浸水被害に見舞われた。この津波は海岸から内陸に向かって侵入しただけでなく、河口から侵入して河道に沿った浸水被害を海岸から侵入した津波よりもさらに内陸まで発生させた。最近の津波の河川遡上の例として、2003年の北海道十勝沖地震津波（安田浩保）²⁾、2009年のチリ沖地震津波（田中仁）などが報告されている。これらと今回の津波との相違点は、河道内を遡上するだけで堤内地に対して浸水被害をもたらすほどの規模に達していなかったことである。今回の津波以前から、津波の河川遡上は、長波が流れを遡上する現象でありながらも河口から20kmほど離れた地点にまで水位変動の影響をもたらしていたことが報告され、実現象を通じて津波の河川遡上の危険性については指摘されてきた。しかし、現状では具体的な対策はほとんど未着手と行った状態であると言わざるを得ない。河口区間に高潮対策が施された河川においては大規模な津波に対してもある程度の耐性を期待できる。その一方で、過去の経緯から高潮対策が施されていない河川や堤内地に広大な0m地帯を抱えるような河川においては、現状の治水施設がどの程度の規模の津波に対して高さ方向の耐性を有しているかの評価は急務であると考えられる。

本研究では、評価対象を新潟市の中心部を貫流する信濃川とし、津波の河川遡上に伴う一次元解析に基づいた河道内水位と、平面二次元解析に基づいた浸水域及び最大浸水深分布の把握を行った。

2. 信濃川下流域の概況

解析対象とした信濃川下流区間は、0m地帯が広範な新潟市中心部を洪水から防御するために関屋分水路が設けられ、洪水時には関屋分水路側に3200m³/s、本川下流側に1000m³/sの流量配分がされるように管理されている。

新潟市の中心部は図-1段彩図から分かるように、図内の12.6%が0m以下(0.4m以下は全体の51.3%にのぼる)、5mを超えるのがわずかに6.12%だけである。その上、図中に示した堤防天端高さに目を向けると、関屋分水点の下流側ではそのほとんどが5m以下であることがわかる。これらのことを総合すると、上流から下流に向かって来襲してくる洪水に対しては、海域に接続するために河道内の水位は潮位に支配されるうえ関屋放水路が洪水流量の3/4を負担するために安全と言える一方、海域から陸域に向かって来襲してくる津波や高潮に対しては脆弱な構造になっていると言わざるを得ない。

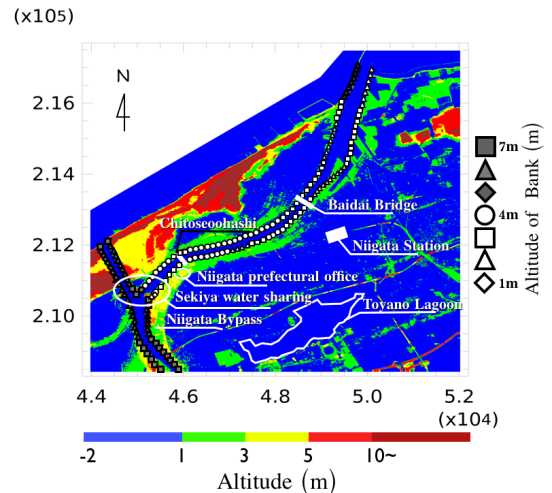


図-1 信濃川下流域の概況

3. 一次元解析

(1) 想定する津波

現在、新潟県が被害想定の対象としている津波は1964年の新潟地震による津波であり、その最大波高は1.8mである。しかし、1833年に発生した庄内沖地震発生時には、現在の北区に相当する地域に6.0m余りの津波が到達したことが歴史資料より判っている。本研究では、これら最大波高1.8mと6.0mの津波が河川を遡上した際の水位変動及び越流区間の把握を目的とした一次元解析を行った。

(2) 支配方程式

河川に侵入する津波の解析をするにあたり、橋脚、水門、その他の横断構造物の設計等に資する、局所的な現象の把握に解析の着目点をおいた場合、非線形分散波列理論の適用は不可欠である。その一方で、津波の波長は河道内では数kmから10数kmにおよび非静水圧性に伴う分散波列の形成は波頭部に限定されると考えられるため、浸水域の推定を目的とした解析では非線形長波理論でもある程度までは可能であるといえる。そのため、本研究では非線形長波理論式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial \eta}{\partial x} = - \frac{C_f}{AD} |Q|Q \quad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

を適用した解析を行った。

ここで、 Q は河川流量、 t は時間座標、 A は流積、 x は流下方向座標、 η は水位、 C_f は河床抵抗係数、 R は径深、 B は水面幅である。河床剪断力から津波が受ける影響に関しては、(1)式の右辺第1項に示したとおり、水深と河床材粒径の関係から決定される河床抵抗係数を用いた表現を

適用することとし、河床抵抗係数は Engelund & Hansen⁴⁾の式を用いた。

(3) 計算条件

本研究では市街地を貫流する河口から 10km までを解析領域とし、入射させた波が着目する新潟市街地を通過する様子が十分に把握可能な、4 時間を対象とした。空間離散間隔 Δx は入射した波長の 1/100 以下になるよう 50m に設定し、空間離散間隔 Δt は 0.2 秒と設定した。初期水位は不等流計算によって決定した。

(4) 境界条件

上流端の境界条件には信濃川の関屋分水より下流側での平常流量である 300m³/s を与えた。

下流端水位には 図-2 に示すような波形を入射させた。破線で示している波形は新潟地震を起因として発生した津波の周期と最大波高を基に作成し、この波形を引き伸ばすことで庄内沖地震時の 6.0m の波形とした。

(5) 解析結果と考察

a) 最大波高 1.8m (新潟地震相当)

現在の信濃川に 1.8m の津波が遡上した場合の解析結果として、全計算時間中の各地点での最大水位の分布を 図-3 に示す。一部で堤防の高さを越えるものの、萬代橋や千歳大橋の桁下より低いま遡上する結果を得た。信濃川本川下流の洪水時の流量は最大 1000 トンだが、津波が遡上した場合はピーク時にはその約 14 倍の流量が信濃川を逆流することが分かった。流量の時間的な変化率も洪水時に比べ極めて大きいため、研究すべき課題が多く残されている。

b) 最大波高 6.0m (庄内沖地震相当)

6.0m の津波が信濃川を遡上した場合の解析結果を 図-4 示す。水位は萬代橋や千歳大橋より高くなり、新潟の中心部で数十分にわたり同時に越流している。河口から 8.0km の地点には県庁など県の中核を担う機関が多く存在している。

4. 平面二次元解析

一次元解析の結果より、6.0m の津波の場合、新潟市の中心部が広範囲で浸水することが予想される。そこで、浸水域及び最大浸水深分布の把握を目的とした二次元解析を行った。対象とする領域は 図-1 に示した領域である。支配方程式は星野ら⁵⁾の研究と同様である。計算格子の格子サイズは全て一辺 20m とし、下流端に最大波高 6.0m の波形を与えた。領域内の最大浸水深を 図-5 に示す。本川下流左岸側において、浸水域のほとんどで最大浸水深が 4.0m 以上である。さらに、右岸側の河川沿いの標高 1.0m 以下の地点はほとんどが浸水しており、浸水域は鳥屋野潟にまで及んでいる。

5. おわりに

一次元解析手法により、新潟市街地を貫流する信濃川下流区間の津波の遡上解析を実施した。また、平面二次元解析により、新潟市中心部における氾濫解析を実施した。

解析の結果、信濃川下流域密集市街における河川津波に対する脆弱性が明らかとなった。将来、本解析で想定した最大波高 6.0m 以上の津波が来襲する可能性は否めず、それによる沿岸及び河道周辺での被害は計り知れないことを示した。

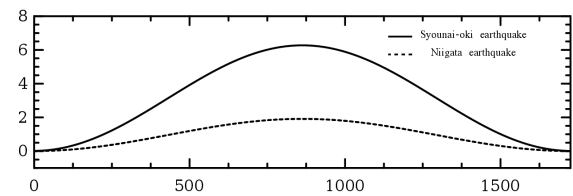


図-2 入射波形

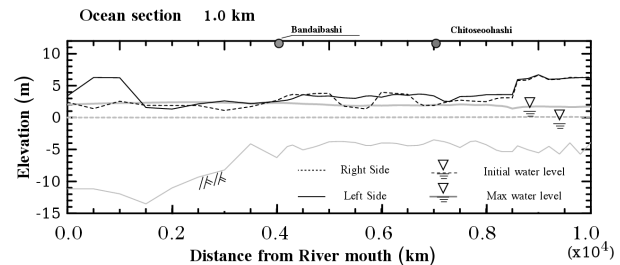


図-3 新潟地震

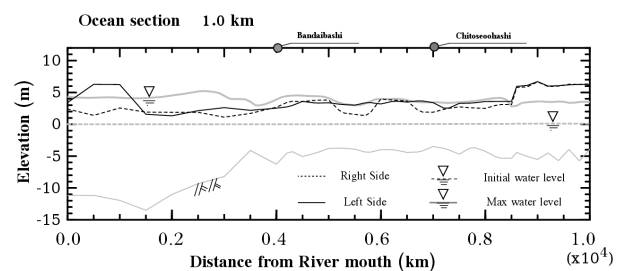


図-4 庄内沖地震

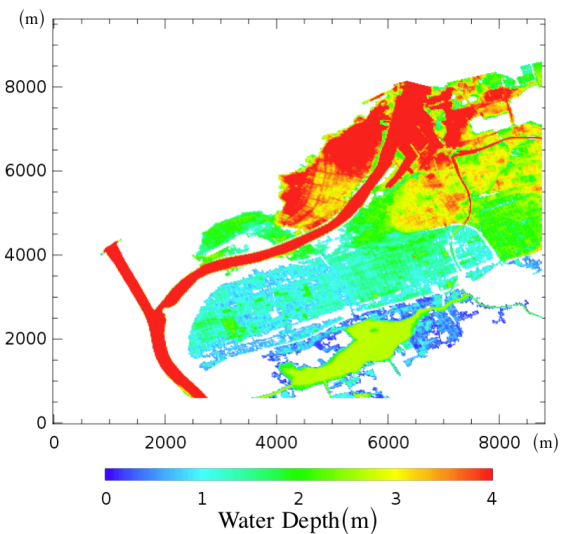


図-5 最大浸水深図

参考文献

- 1) 安田浩保: 河川を遡上する津波の 1 次元解析手法の提案と実現象への適用, 水工学論文集, Vol.50, pp.417 - 422, 2006
- 2) 安田浩保, 渡邊 康玄, 藤間功司: 2003 年 9 月の十勝沖地震に伴い発生した津波の河川遡上, 土木学会論文集, No.768/ 図- 68, pp.209 - 218, 2004.
- 3) 矢野 雅昭, 吉川 泰弘, 平井 康幸, 田中 茂信: 遊水地による津波の河川遡上低減効果に関する水理実験, 河川技術論文集, Vol17, 2011
- 4) Engelund & Hansen: A monograph on Sediment Transport in alluvial Stream, Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark, 62p., 1967.
- 5) 星野 剛, 安田 浩保, 永多 朋紀: 四分木構造格子を導入した自然河川における分岐点と合流点の数値解法, 水工学論文集, Vol.56, 2012