河道内における津波の波高減衰特性

東北大学大学院工学研究科　学生会員　○茅根康佑
東北大学大学院工学研究科　フェロー会員　　田中　仁

１．はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災で起きた津波は我が国に甚大な被害を及ぼした。その中では，津波が河川を経路として堤内地へ侵入し，被害を拡大させたケースがいくつも見られた。この教訓から，現在，各地方自治体によって防災案の検討が行われており，その内代表的な方法の一つが，河川堤防を用いて，堤内地への津波の侵入を防ぐものである．これを行うためには，河道内における津波の減衰特性の詳細な把握が必要である.

河川での津波の挙動に関する研究は，これまでにもなされており，1983 年日本海中部地震時の米代川，2003 年十勝沖地震時の十勝川に関するものが代表的である．しかし，複数の河道特性に応じた津波波高の減衰特性を明らかにしたものは，殆ど見られない.

本研究では，水位計や痕跡情報によって得られた観測値から，河道内における津波の減衰課程の把握を行い，その特性を明らかにする.

２．津波高さの算出

２．１　宮城県河川

津波の高さは，津波の影響を受けてない既知の変動からの上昇量と定義されている．今回の地震では，宮城県の殆どの河川で，来襲直後に津波高さのピークが訪れている．そこで，本研究では津波来襲直後の水位から津波来襲直前の水位を引いたものを河川内の観測点における津波高さとした．一方，痕跡高情報では河川堤防に残った津波痕跡が T.P.として表示されている．その値から，津波来襲時の推定水位を引いた値を津波高さとした.

また，今回，2010 チリ地震時の水位データも使用した．この場合，推算潮位もしくは水位データに移動平均をかけたものを津波の影響を受けてない水位データと仮定し，それを元の水位データから引いた値の最大値を津波高さとした.

２．２　北海道河川

阿部ら(2011)は 2011 年東北地方太平洋沖地震時に北海道河川に遡上した津波波形を示している．津波波形は観測点ごとの水位計データから DFP を用いて算出したものである．本研究ではその最大値を用いて波の減衰を把握する.

また，2003 年十勝沖地震時の十勝川における水位計データを Yasuda(2010)は示している．2010 年の宮城県河川と同様に移動平均を利用して津波の最大高さの算出を行った。

３．河道内における津波減衰

図-1 のように，それぞれ算出した津波高さを河川毎に距離に対し，プロットを行った．どの河川においても津波高さが指数関数的に減衰していることがわかる．このことから，次式で表される波浪の減衰の式に依存していると考えられる.

$$H = H_0 e^{-kx} \qquad \text{(m)} \quad (1)$$

ここで，H：河口からの距離 x (m)の地点おける津波高さ(m)，H_0：定数(m)，x：河口からの距離(m)，k：波高減衰係数(m^{-1})である．河川毎のデータに最小二乗法を用いて河道内における津波高さの減衰係数を求めた．鳴瀬川などのカーブや河道内構造物の影響の少ない河川においては，異なる規模の津波においても減衰係数はほぼ同じ値を示した．これにより津波の規模が減衰係数に影響を与えないことが判断される.

４．河床勾配と津波の波高減衰の関係

最小二乗法で求めた河川毎の減衰係数 k が河床勾配 S に依存すると仮定し，グラフにプロットを行った．そのグラフを図-2 に示す．グラフには 2011 年痕跡情報による減衰係数 k を使用した．ただし，砂押川と新釧路川，十勝川は痕跡によるデータが得られなかった為，水位計データを使用した．その結果，減衰係数 k と河床勾配 S の間に指数関数的な良好な関係が得られた．また，最小二乗法により以下の経験式を求めた.

$$\mathrm{k} = 5.43 \times 10^{-5} \exp(4.35 \times 10^{3} \mathrm{S}) \qquad (\mathrm{m}^{-1}) \quad (2)$$

５．遡上距離の算出

H/H_0=0.05 となる地点を遡上端と仮定し，得られた経験式(2)を$\mathrm{H/H_0} = e^{-kx}$に代入することで，遡上距離 x_p と河床勾配 S の間に関係式を導くことができる．以下に，その式を示す.

$$x_p = 5.51 \times 10^{4} \exp(-4.35 \times 10^{3} S) \qquad (\mathrm{m}) \quad (3)$$

この結果を理論値として図-3 に示した．さらに，実測値との比較を行った．実測値として使用したのは水位観測所のデ

キーワード：東日本大震災津波，河川遡上，河川水位，宮城県

連絡先：〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06　環境水理学研究室　Tel 022-795-7453　Fax 022-795-7453

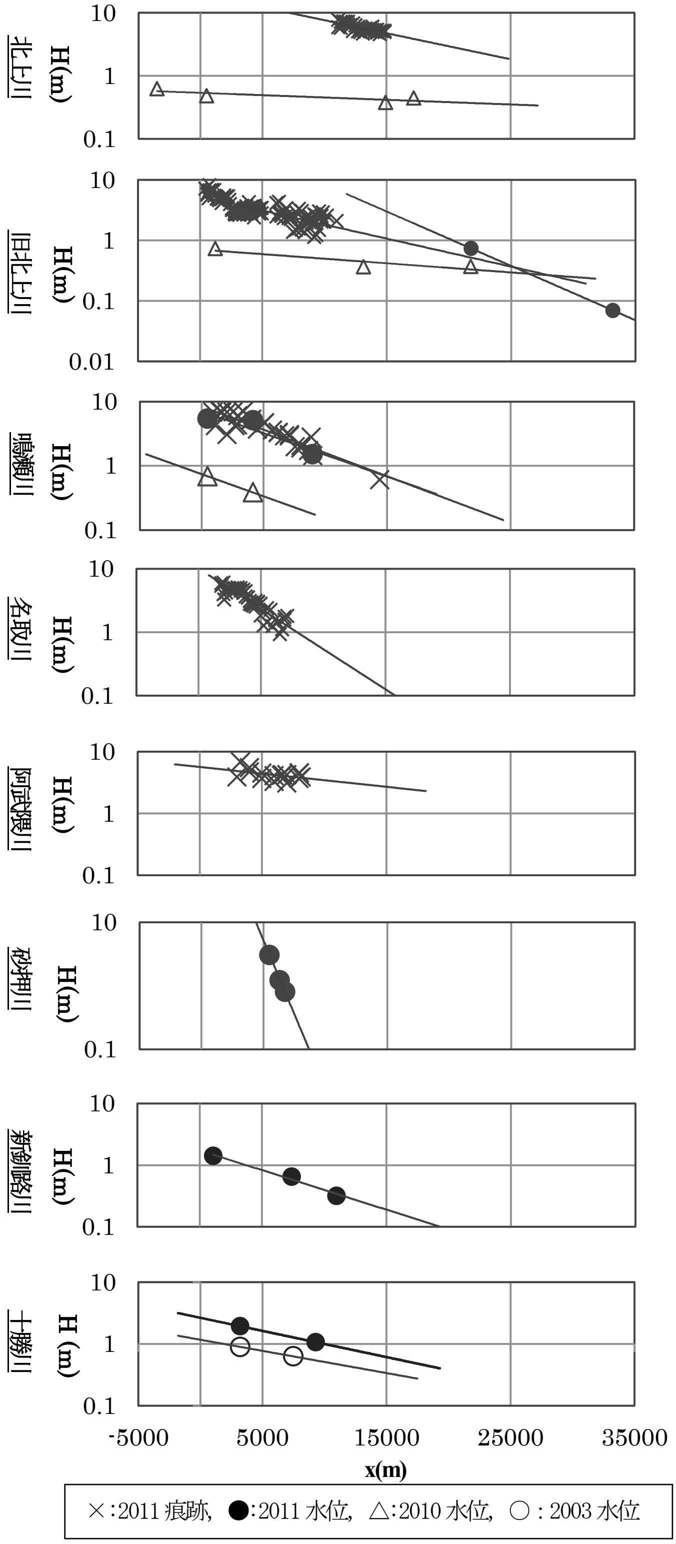

図-1 河道内における津波の減衰

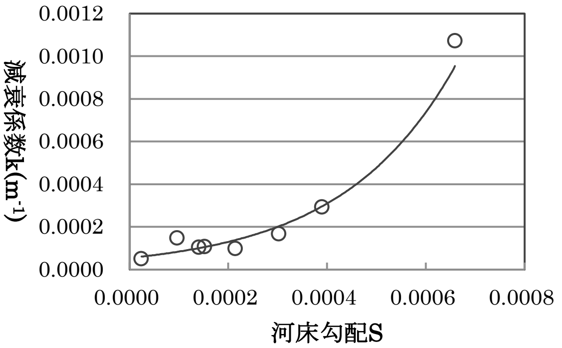

図-2 減衰係数と河床勾配の関係

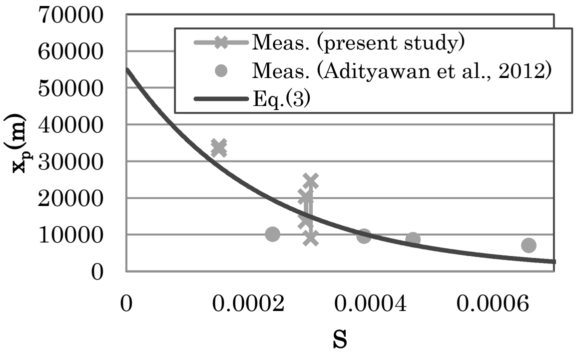

図-3 遡上距離と河床勾配の関係

ータ及びAdityawanら(2012)によるデータである．水位観測所のデータは水位データに津波による変動が見られる最も上流の観測点と変動が見られない最も下流の観測点の間に遡上端があると考え使用した．従って，図中の×印で結ばれた直線の中に遡上端がある．

また，図中の丸印はAdityawanら(2012)により現地データをもとに確認された遡上距離である．その結果，実測値と理論値の間に良好な関係を得ることが出来た．これにより，津波に対して特に防災のための策を必要とする河川区間の長さを推定することが可能である．

５．おわりに

宮城県河川及び北海道河川のデータを用いて，河道内における津波波高の減衰の考察を行った．結果，以下の結論が得られた．

（１）河道内において，津波は指数関数的に減衰することが明らかとなった．

（２）得られた減衰係数kと河床勾配Sの間に指数関数的な相関が得られた．

（３）遡上距離と河床勾配の関係式を導出した．これによる値は観測値と良好な一致を示した．

謝辞：本研究を行うに当たり国土交通省東北地方整備局ならびに宮城県河川課より貴重な河川水位データの提供を受けた．また，日本学術振興会科学研究費(基盤研究(B)No.22360293)，河川整備基金，および東北建設協会建設事業に関する技術開発支援の助成を受けた．ここに記して関係各位に深甚なる謝意を表する．

参考文献

1) 阿部孝章・吉川泰弘・安田浩保・平井康幸：2011年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波の北海道内における河川遡上，土木学会論文集B1(水工学)，B1-68, pp.I_1525-I_1530.,2012
2) Yasuda, H.: A one-dimensional study on propagation of tsunami wave in river channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.136, No.2, pp.93-105, 2010.
3) Adityawan, M.B., Roh, M., Tanaka, H., Mano, A. and Udo, K.: Investigation of tsunami propagation characteristics in river and on land induced by the Great East Japan Earthquake 2011, 2012