東北地方太平洋沖地震津波後の七北田川河口閉塞とその後の地形変化

River Mouth Morphology Changes at the Nanakita River Mouth After The Great East Japan Tsunami

田中 仁¹・Mohammad Bagus ADITYAWAN²・真野 明³

Hitoshi TANAKA, Mohammad Bagus ADITYAWAN and Akira MANO

This study investigates the river mouth morphology changes at the Nanakita River mouth. The river mouth was greatly changed due to The Great East Japan Tsunami in 2011. The gradual process of river mouth changes was investigated using water level measurement data in the river and the sea. The correlation coefficient and the linear gradient between the two data sets were analyzed. Both of the parameter show that the river mouth morphology changes will have significant effects to the tide intrusion, hence their value will correspond to the river mouth condition. River mouth closure, as well as river mouth opening has been successfully detected. The proposed method in this study will provide an efficient way for analyzing and evaluating river mouth morphology changes.

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震津波によりもたらされた海浜変形の特徴の一つとして、仙台湾岸における河口周辺に見られるラグーン地形の消失が挙げられる(田中ら, 2011)。ラグーンは貴重な自然環境であるのみならず、稚魚の成長にとって重要な水域でもある(Yamashita et al., 2000)。このため、水産の面でもその再生が強く望まれている。

七北田川河口左岸に位置する蒲生干潟もその様なラグーンの一つである。七北田川においては、津波によりバリアー地形が侵食されて河口ラグーンが消失した後に、ラグーンの再生、河口閉塞、出水による新たな河口の形成、人工開削の実施と大きな変容を遂げている。このうち、河口の完全閉塞までの過程についてはすでに報告を行っている(平尾ら, 2012)。本稿では、上記のプロセスのうち、主に河口閉塞以降の地形変化を対象とし、その過程を空中写真・水位データからモニターし、河口閉塞の進行過程、人工開削の効果を検証する。特に、地形モニターデータが十分でない場合、水位変動データの計測がそれを補う資料として活用出来ることを示した。

2. 現地調査および使用したデータ

対象河川は宮城県仙台市を流れる二級河川七北田川である。津波による大規模地形の発生後の6月以降、地形モニタリングのために、約1ヶ月の間隔で空中写真撮影を行った。また、その間に、空中写真を補うために現地での写真撮影およびGPS測量を行った。

潮位に対する河口内水位の応答は、開口部の特性に応

じて大きく変化することが知られている(例えば, Keulegan, 1967)。山口(1969)は河口水位と潮位の振幅比が河口閉塞の度合いを示す指標となると報告している。田中(1995)は河口水位の実測データから河口断面形状の推定が可能であることを示している。そこで、国土交通省仙台河川国道事務所、宮城県河川課により取得されている河口内水位・潮位の解析を行った。これにより、現地での状況が観察されていない時期においても、河口内水位データから河口地形特性を推定することが出来るものと期待される。水位データの観測場所を図-1に示す。また、それらの計測開始日時を表-1に示す。図-1に見られるように、七北田川河口と名取川河口は貞山運河により結ばれている。観測水位データのうち、名取川河口においては洪水時を除けば潮位変動がほとんど変形

図-1 七北田川河口地形と水位観測位置 (Google Earth)

1 フェロー 工博 東北大学工学研究科教授 土木工学専攻
2 正会員 Ph.D. 東北大学工学研究科PD 土木工学専攻
3 フェロー 工博 東北大学災害科学国際研究所教授

することなく河口内に伝搬している（田中, 1995）ことから、以下では名取川河口水位を潮位変動と見なして解析を行っている。津波により、七北田川本川と貞山運河を隔てる閘門が被災し、その後、先ずG2において水位の観測が開始された。その後、2011年10月上旬に治水上の目的から閘門の仮復旧がなされ、それ以降はG2地点での水位を河口水位と見なすことは出来ない。11月24日には七北田川河口左岸にX1観測所が設置されたので、それ以降はここでのデータを河口水位としている。

3. 結果と考察

(1) 地形の変化

津波来襲後の七北田川河口地形の変化を図-2に示す。このうちの一部はすでに平尾ら（2012）、Tanaka et al. (2012) により発表がなされている。

図-2 (a) は津波来襲前の河口地形である。仙台湾岸では北上する漂砂が卓越し、このために七北田川河口では右岸砂州の発達が目撃される。左岸には汀線部まで導流堤が建設されており、このため、河口開口部の左端はこの導流堤の位置を越えることはない。図-2 (b) は3月12日の河口地形であり、ラグーン地形が消失している。河口左岸海側には前述の導流堤が見られ、特に左岸海浜での汀線の後退が目撃される。その後、図-2 (c)、図-2 (d)

表-1 水位の計測期間

地点名称 (管理者)	計測開始日時	註
G2 (国土交通省)	2011年6月22日	七北田川と貞山運河が締め切られた2011年10月上旬まで、河口水位として使用。
X1 (宮城県)	2011年11月24日	上記締め切り以降の河口水位として使用。
関第二 (国土交通省)	2011年4月1日	津波による被災により、一時停止。潮位データと見なす。

の様に河口砂州が発達した。図-2 (a) の河口砂州の形成箇所と比べ、河川上流の位置に砂州が発達している点が大きな特徴である。同様な現象は鳴瀬川においても見られている（平尾ら, 2012）。七北田川においては河口部での深浅測量がなされていないが、鳴瀬川では河口部が最大で8mほどの深さまで侵食されたことが確認されている。七北田川においても同程度まで河口部が深掘れし、このため、河口内部まで進入した波浪により、図-2 (c)、図-2 (d) の様な砂州の形成が生じたものと考えられる。Adityawan・Tanaka（2012）は福島県いわき市の二級河川鮫川においても同様な河口砂州の押し込みが見られることを報告している。また、前川（2010）は最上川河口に

(a) 2011年3月6日

(b) 2011年3月12日(国土地理院)

(c) 2011年6月8日

(d) 2011年7月6日

(e) 2011年9月7日

(f) 2011年9月24日

(g) 2012年3月14日

(h) 2012年4月8日

図-2 七北田川における河口地形の変化

図-3 河口水位の変動

おける導流堤の建設後、河道内への進入波により同様な河口砂州の形成が見られることを報告している。七北田川・鳴瀬川・鮫川の事例と比べ、波浪進入をもたらした原因は異なるものの、類似した事象であると考えられる。

その後、2011年8月10日には現地において河口閉塞が確認されている。閉塞後の空中写真を図-2(e)に示す。七北田川においては1990年代まで河口閉塞が頻繁に発生した(田中, 2010)。閉塞後に七北田川河川流は貞山運河を通じて名取川に注いだ。このため、河川の自己流量による閉塞部に堆積した砂のフラッシュは生じず、図-2(e)に示した地形が安定した状態で保たれた。

9月22日に台風15号による出水が生じた。このため、図-2(f)に見られるように以前の蒲生干潟奥部に対応する箇所で砂浜のbreachingが生じ、新たな河口が形成された。以前の蒲生干潟内を流れる湾曲河道地形は、洪水時水位せき上げによる治水安全度の低下、および干潟環境の喪失の問題を抱えていた。そのため、2012年3月上旬に、蒲生干潟・七北田川本川を隔てる導流堤を嵩上げた上で、以前の河口開口部の位置で人工開削が行われた(図-2(g))。掘削土は河口左岸に盛り立てられた。その後、出水により形成された開口部は閉塞し、津波来襲前の同じ場所に河口が形成され、現在に至っている(図-2(h))。

(2) 河口水位変動の特徴

上述の様に河口水位は河口地形を反映していることが

ら、逆問題的な考え方により水位データから、不足する地形情報を補完出来る可能性がある。そこで、河口水位データの詳細な解析を行った。まず、図-2に示した各空中写真撮影時を中心に河口内水位変動の特徴を以下に示す。なお、以下の水位データはT.P.0mを基準として表示されている。

図-3(a)は、図-2(d)が撮影された日にちを含む2日間の水位変動を示している。七北田川河口内において若干の水位振幅低減が見られるものの、両者はほぼ同様な変動を示しており、水位ピークの発生時刻もほぼ一致している。このことから、図-2(d)に見られるように河口内での砂州の発達は見られるが、水位観測点G2には位相の遅れを伴わずに潮汐が伝搬しており、水位変動を見る限り、河口閉塞の兆候は見られない。

図-3(b)は、現地で最初に閉塞が確認された8月10日の直前の水位を示している。図-3(a)と比較すると、満潮時の河口でのピーク水位はほぼ同程度の高さであるが、低潮時の河口水位が図-3(a)ほどは低下せず、河口部が浅化していることを示している。

図-3(c)は、図-2(e)に示した河口閉塞時の水位変動を示している。完全閉塞が生じていることから、七北田川河口内のG2に見られる変動は、名取川河口から貞山運河を通じて伝搬したものである。このため、変動振幅の低減・位相の遅れが顕著である。

図-2(f)の地形が作り出された9月末の洪水をはさん

で7日間の水位変動を図-3 (d) に示している。洪水の発生前は基本的に図-3 (c) と同様な水位変動特性を示す。22日の出水により、七北田川ではT.P. 1.92mまで水位が上昇した。図-2 (f) の新たな河口部が形作られたことにより、海域から水位計測地点までの距離が減少したことから、洪水後に位相のズレが減少している。

図-2 (g) に示した人工開削をはさんで前後の河口水位の変動を図-3 (e), 図-3 (f) に示す。現地では3月1日に以前の開口部において河川と海域がつながったが、水位波形を見る限り、開削の前後において顕著な差は見られない様である。

(3) 閉塞日の推定

これまで述べた様に、河口水位変動特性は河口地形を明らかに反映している時期もあるが、一方でそれが明瞭でない時期も見られる。そこで、両者の関係についてより定量的な評価を行う。

まず、図-4の図中に示したグループ毎に、河口内水位 η_R と潮位（閑上水位） η_o との関係を示す。これより、各データ群において、両者の相関および線形回帰した際の傾きに大きな差があることが分かる。そこで、6月から9月までの期間について、一日ごとに相関係数 R および次式で定義される線形回帰の傾き a を求めた。

$$\eta_R = a \eta_o + b \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 b ：定数である。

R および a の日変動を図-5に示す。図中のアルファベットは図-3のそれに対応し、数字は図-4のデータ番号に対応する。6月はほぼ $R=1.0$ であり、津波により洗掘された十分に大きな河口断面により海水交換が行われていたことを示す。その後、7月から8月にかけて R は徐々に減少

し、8月中旬から9月中旬にかけて R は最小値を示す。9月22日の出水後には R が増加しており、図-2 (f) の様に閉塞が解消された地形変化を R の変動に見ることが出来る。 a の値についてもほぼ同様な傾向を示すが、 R に比べてばらつきが小さい。

最初に現地で閉塞が確認された日は8月10日である（河北新報, 2012）。また、佐藤（2012）は前日の8月9日に河口部での小規模な水路を確認している。これらの現地情報を併せると、閉塞は8月10日に完了し、 R , a が最小値を示す時期は閉塞期間を表していることが分かる。このように、相関係数の変化は河口閉塞を表す指標として利用することが出来る。

図-4 河口水位と潮位の相関

図-5 河口閉塞前後での R および a の日変化

図-6 人工開削前後での R および a の日変化

(4) 人工開削の効果

水位変動特性と河口地形との間に関連があることから、2012年3月に行われた人工開削についても、それによる通水状況の改善が水位変動に現れていることが期待される。そこで、2月から3月にかけての水位資料を用い、上記と同様な解析を行った。

開削前後の潮位・河口内水位の相関係数 R および式(1)の傾き a の変化を図-6に示す。相関係数の低い前半の期間から3月1日の開削を経て、それ以降の期間では相関係数が増加している。 a の変化も同様である。図-2(f)に示す湾曲した流路から、以前の河口位置で直接海に注ぐ流路が変わったことにより、通水能が増加したことを図-6において確認することが出来る。

4. おわりに

七北田川河口における、東北地方太平洋沖地震津波後の地形変化を空中写真をもとにモニターを行った。この際、水位データを使用して不足する地形データを補完することが出来た。主要な結論を以下に示す。

- (1) 河口水位と潮位変動の相関係数を算出することにより、津波により洗掘された河口断面の増大を確認した。さらに、漂砂の河口内押し込みによる閉塞過程、洪水による新たな開口部の形成、その後の人工開削の影響を河口内水位変動と潮位との相関係数および線形回帰の傾きから読み取れること確認した。
- (2) これより、相関係数・線形回帰の傾きの日変化を追跡することにより、詳細な河口深浅測量を行わずとも、河口断面の変化をモニター出来ることが明らかになっ

た。これは、津波発生後のみならず、通常時の河口管理の手法としても有効な方法である。

- (3) 今後、他の地域においても同様な津波災害により、類似した海浜地形変化が見られる可能性があり、これらの地域での防災計画立案のために活用することの出来る貴重な知見が得られた。

謝辞：本稿に示した河口閉塞対策は宮城県土木部河川課が設置した「七北田川河口整備検討会」において技術的な検討がなされたものである。本研究を行うにあたり、宮城県土木部河川課、国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所、三井共同コンサルタントより貴重な現地資料の提供を受けた。さらに、本研究に対して日本学術振興会科学研究費（基盤研究（B）No.21360230，同No.22360193，特別研究員奨励費No.2301367），（財）河川環境管理財団河川整備基金，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ている。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

- 河北新報（2012）：蒲生干潟復活の息吹，2012年8月16日朝刊。
- 佐藤賢治（2012）：2011年東北地方太平洋沖地震後の蒲生干潟の魚類について，仙台市科学館研究報告，第21号，別冊，pp.18-23。
- 田中 仁（1995）：七北田川において観測された中小河川特有の河口現象，土木学会論文集，第509号/II-30，pp.169-181。
- 田中 仁（2010）：第11章 七北田川，日本の河口（澤本正樹・真野 明・田中 仁編著），pp.104-114，古今書院。
- 田中 仁・真野 明・有働恵子（2011）：2011年東北地方太平洋沖地震津波による海浜地形変化，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. 67，No.2，pp.I_571-I_575。
- 平尾隆太郎・田中 仁・梅田 信・Nguyen Xuan Tinh・Eko Pradjoko・真野 明・有働恵子（2012）：東日本大震災津波後の河口地形変化の特徴と問題点，土木学会論文集B1（水工学），Vol.68，No.4，pp.I_1735-I_1740。
- 前川勝朗（2010）：第9章 最上川，日本の河口（澤本正樹・真野 明・田中 仁編著），pp.83-93，古今書院。
- 山口高志（1969）：河口閉塞とその調査の問題点，土木技術資料，第11巻，10号，pp.25-32。
- Adityawan, M. B. and Tanaka, H. (2012) : Investigation of shoreline change caused by the Great East Japan Taunami 2011 around Samegawa River mouth, Proceedings of International Sessions of Coastal Engineering Conference, Vol.3. (in press)
- Keulegan, G. H. (1967) : Tidal flow in entrances, U.S. Army Corps of Engineers, Committee on Tidal Hydraulics, Technical Bulletin, No.14, 102p.
- Tanaka, H., Nguyen, X. T., Umeda, M., Hirao, R., Pradjoko, E., Mano, A. and Udo, K. (2012) : Coastal and estuarine morphology changes induced the 2011 Great East Japan Earthquake Tsunami, Coastal Engineering Journal, Vol.54, No.1. doi: 10.1142/S0578563412500106
- Yamashita, Y., Otake, T. and Yamada, H. (2000) : Relative contributions from exposed inshore and estuarine nursery grounds to the recruitment of stone flounder, *Platichthys bicoloratus*, estimated using otolith Sr:Ca ratios, Fisheries Oceanography, Vol.9, No.4, pp.316-327.