

山元海岸における津波湾の形成機構に関する研究

Vo Cong HOANG¹・田中 仁¹・三戸部 佑太¹・有働 恵子²・真野 明²

Study on mechanism of tsunami bay formation on Yamamoto Coast

Vo Cong HOANG¹, Hitoshi TANAKA¹, Yuta MITOBE¹,
Keiko UDO² and Akira MANO²

Abstract

The 2011 tsunami waves and return flows caused severe breaching of sandy beach along the coast of Yamamoto, Miyagi, Japan. These breaching are bounded by coastal structures such as jetties or breakwaters which are considered as rigid boundaries. This study investigates the formation mechanism of tsunami bay at the breaching locations. Fully recovery of breaching is observed at the areas with sufficient sediment supply from adjacent sandy coasts. However, at the area with less or without adjacent sandy coast, the formation of tsunami bay is observed. The relationship between measured area of adjacent sandy coasts, A_s , and measured area of breaching, A_b , indicates that the formation of tsunami bay take place in case A_b greater than A_s and vice versa.

キーワード：山元海岸，津波湾，東日本大震災津波，ブリーチング，回復

Key words：Yamamoto Coast, tsunami bay, the Great East Japan Earthquake Tsunami, breaching, recovery

1. はじめに

2011年東日本大震災津波によりもたらされた海浜変形の特徴の一つは大規模なブリーチングである。Tanakaらの報告^{1,2)}によれば、河口近くに位置するラグーンと海を隔てるバリアー地形や、旧

川跡において大規模なブリーチングが生じている。その後、Hoangら^{3,4)}はこのようなブリーチング地形の回復過程に関する理論的考察を行っている。

宮城県仙台北海岸の南部に位置する山元海岸にお

¹ 東北大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Tohoku University

² 東北大学 災害科学国際研究所
International Research Institute of Disaster Science,
Tohoku University

本報告に対する討論は平成28年8月末日まで受け付ける。

いては海岸堤防の破堤が生じ、その前面において大規模な砂浜のブリーチングが生じた^{5,6)}。山元海岸におけるその後の回復過程は大別して、①汀線の回復が見られた箇所、②いわゆる「津波湾」として湾入汀線が残存した箇所の二種に分類される。このうち、津波湾残存部においては旧堤法線位置での水深が深いまま維持されたために、被災前の位置での堤防復旧が困難を極め、このため、一定量のセットバックを余儀なくされた。また、構造物前面の水深が大きいことから堤防への波当たりも強く、連続する海岸構造物の中で特に弱点となりやすい箇所となる。今後、国内の他所においても同様な大規模津波災害が予想されていることを考慮すれば、実務的な観点においても津波湾の形成機構を検討することは重要なテーマである。

そこで、本論文では山元海岸における津波湾の形成機構に関する検討を行った。なお、2004年12月インド洋大津波の際に生じた海浜変形の回復過程に関する研究も多くなされている（例えば、Liew et al.⁷⁾, Choowong et al.⁸⁾）が、津波湾の形成に関する報告は無い。

2. 山元海岸の概要と収集データ

山元海岸は図1に示すように宮城県阿武隈川河口から福島県境に至る砂浜海岸であり、これまで海岸侵食対策としてヘッドランド事業および養浜事業がなされて来た^{9,10)}。同海岸では、2011年東日本大震災津波により海岸堤防が大きな被災を受けた¹¹⁾。その後、海浜地形の回復過程において多くの箇所で津波湾が形成された¹²⁾。片野ら¹³⁾の報告によれば、山元海岸における堤防の被災状況はパーの有無と密接に関係している。

3. 山元海岸における津波湾の形成状況

図2-1は津波被災前の2009年12月10日の画像を示している。山元海岸においては北上する沿岸漂砂が卓越し、このため海岸の南部において侵食が著しい。図2-1において南部ほど白い砂浜域が狭小であることが認められる。そこで、南側からヘッドランドの建設が進められ、この時点では8基の

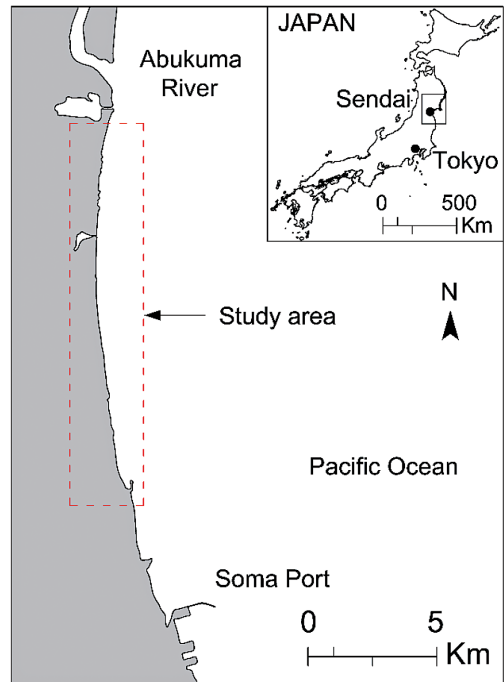


図1 山元海岸の概要

建設が行われていた。

図2-2は被災直後のブリーチングを示している。図中の実線は図2-1から読み取った津波前の汀線位置を示している。多くの場所で砂浜の決壊が確認される。また、北側の海岸において以前の海岸堤防の背後に、越流した津波による落掘の形成が確認される。

図2-3は津波発生から約二ヶ月後の状況を示す。主に北側エリア（図中左部）では決壊部の回復が見られるが、南側（図中右部）の砂浜では依然、汀線には大規模な侵食部が残っている。

図2-4は津波発生から約一年を経た時点での津波湾の形成状況を示す。津波湾が形成されなかったところ（○印）と、津波湾が形成されたところ（×）に明確に分かれており、津波湾形成箇所は山元海岸の南側にのみ位置していることが分かる。なお、津波湾の定義については以下に詳述する。北側では津波被災直後のブリーチングが閉塞して、離岸堤部分を除いて汀線の凹凸も消滅しており、滑らかな連続的な砂浜が形成されている。

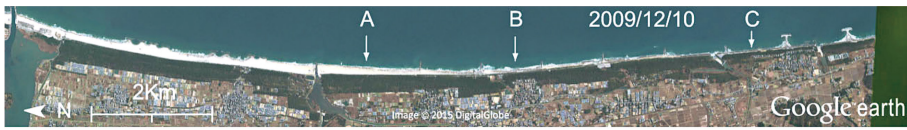


図2-1 山元海岸の汀線形状 (2009年12月10日)



図2-2 山元海岸の汀線形状 (2011年 3月14日)



図2-3 山元海岸の汀線形状 (2011年 4月 6日)

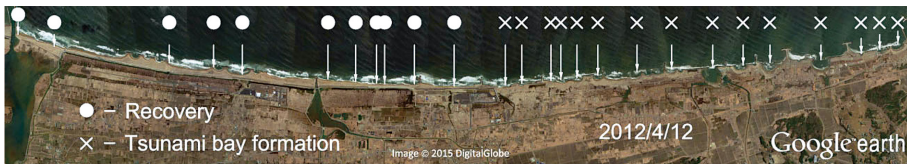


図2-4 山元海岸における津波湾の形成箇所 (○：津波湾非形成箇所，×：津波湾形成箇所)

次に、図2-1に示す地点 A, B, C について、より詳細な地形変化の状況を図3、図4、図5に示す。図3は、図2に示す A 地点での詳細な地形回復過程を示している。図3-1は初期地形である。図3-2によれば、2011年3月14日には、海岸堤防背後に形成された落掘と海域とが繋がっている。しかし、実線で示された図3-1の時点での初期汀線に比べ、決壊部を除けば汀線変化量はきわめて小さい。その後、このブリーチングは徐々に埋め戻され(図3-3)、津波前の海岸とほぼ同程度まで回復している(図3-4、図3-5)。

次に、図4は図2の B 地点に位置する地形変化を示している。前述の図3に示した A の箇所と比べて、砂浜幅が狭小である点に相違がある。二つのヘッドランド間に存在する二箇所の決壊部のうち、左は図4-5においてほぼ回復して直線的な汀線を示しているのに対して、右の決壊部には円弧状の汀線が形成されていることが確認され

る。図4-2によれば、左のヘッドランド付け根部に砂浜が存在し、図4-3、図4-4において、左側決壊部左岸側の砂浜に浜崖の形成が見られる。これより、この砂浜からの沿岸漂砂が決壊部の回復に寄与しているものと推測される。右側決壊部の左右岸にはこのような供給源となる砂浜がほとんど見られず、このために小規模な円弧状の湾が残存している。この様に、本論文においては津波後に回復した汀線に湾曲形状が確認される箇所を津波湾と定義した。

最後に、図5は図2の漂砂上手に位置する C 地点における画像を示している。前述の通り、この箇所では津波被災前から侵食が深刻であり、砂浜がほとんど見られなかった。図5-1から図5-5に示した通りに汀線の回復が見られず、大規模な津波湾が形成されている。

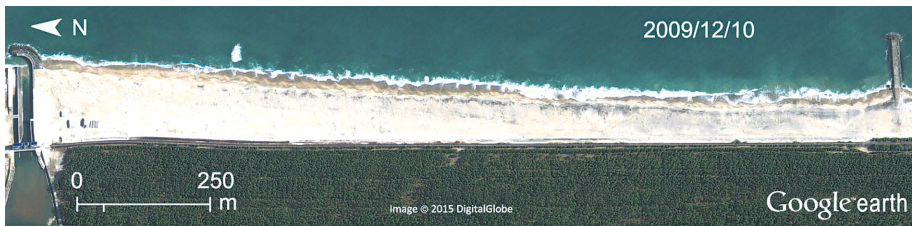


図3-1 汀線変動 (A 地点, 津波湾非形成箇所, 2009年12月10日)

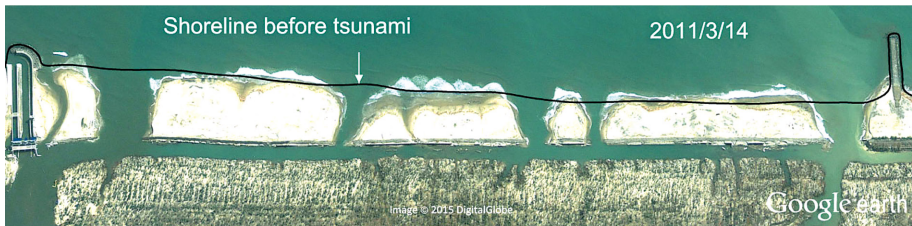


図3-2 汀線変動 (A 地点, 津波湾非形成箇所, 2011年3月14日)



図3-3 汀線変動 (A 地点, 津波湾非形成箇所, 2011年4月6日)



図3-4 汀線変動 (A 地点, 津波湾非形成箇所, 2011年5月24日)



図3-5 汀線変動 (A 地点, 津波湾非形成箇所, 2012年4月12日)



図4-1 汀線変動 (B 地点, 津波湾形成・非形成の混在箇所, 2009年12月10日)

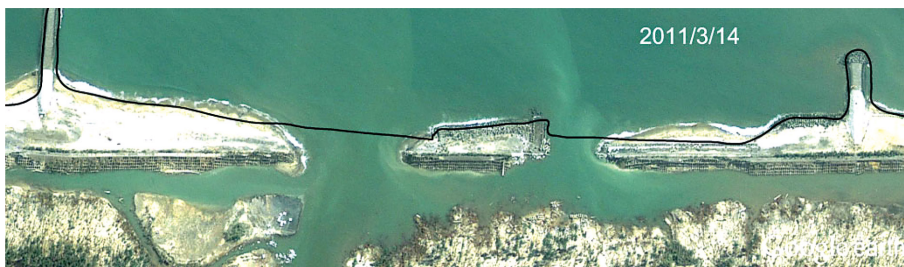


図4-2 汀線変動 (B 地点, 津波湾形成・非形成の混在箇所, 2011年 3 月14日)

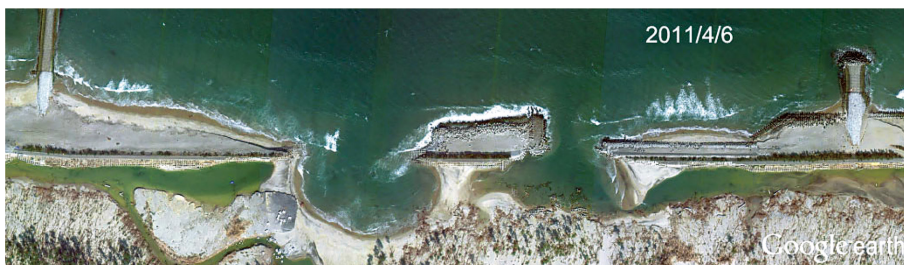


図4-3 汀線変動 (B 地点, 津波湾形成・非形成の混在箇所, 2011年 4 月 6 日)

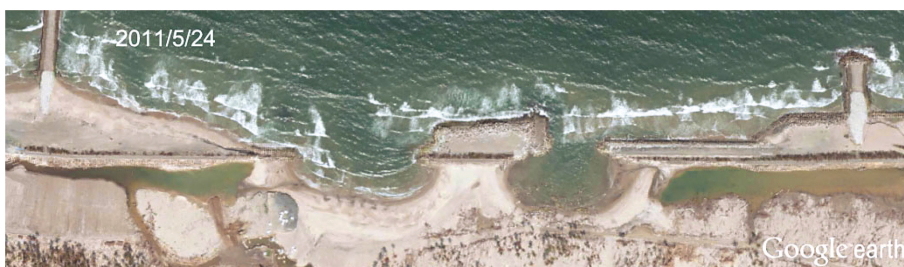


図4-4 汀線変動 (B 地点, 津波湾形成・非形成の混在箇所, 2011年 5 月24日)



図4-5 汀線変動 (B 地点, 津波湾形成・非形成の混在箇所, 2012年 4月12日)



図5-1 汀線変動 (C 地点, 津波湾形成箇所, 2009年12月10日)

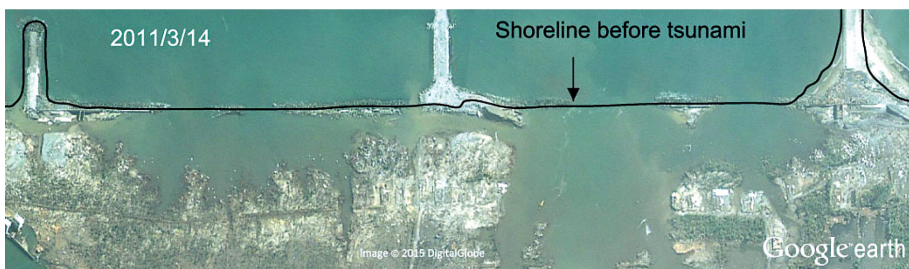


図5-2 汀線変動 (C 地点, 津波湾形成箇所, 2011年 3月14日)

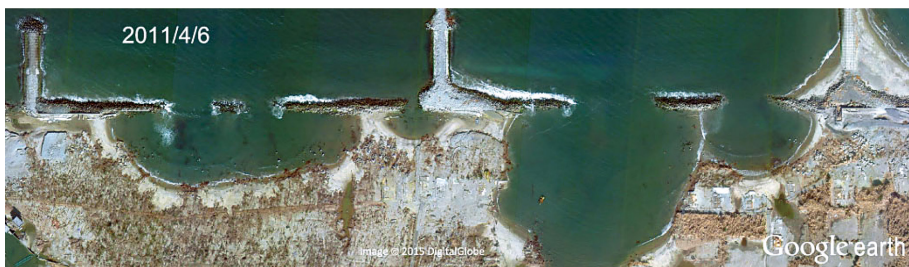


図5-3 汀線変動 (C 地点, 津波湾形成箇所, 2011年 4月 6日)



図5-4 汀線変動 (C 地点, 津波湾形成箇所, 2011年 5月24日)



図5-5 汀線変動 (C 地点, 津波湾形成箇所, 2012年 4月12日)

4. 津波湾の形成要因

以上に示した考察を背景に, 図6-1, 図6-2のように面積 A_B と A_S とを定義する。すなわち, 津波来襲直後のブリーチングの面積を A_B とし, また, ヘッドランドに挟まれた領域における砂浜の面積を A_S とする。 A_S は決壊部を埋め戻すための供給源を表しており, $A_S \gg A_B$ であれば容易に決壊部が埋め戻されるであろう (図6-1)。一方, $A_S \ll A_B$ であれば決壊部を埋め戻すための砂の供給源が不足するであろうと予想される (図6-2)。

図7は津波湾の残存箇所 (×) と砂浜回復箇所 (●) について, A_S と A_B との関係をプロットしたものである。ここで, 図3の様に二つのヘッドランド間に複数の決壊が見られた場合には, 隣り合う二つの決壊の間の距離の半分の区間がそれぞれの埋め戻しに貢献していると仮定している。図7によれば, 予想したとおりに A_S と A_B の大小関係により × と ● が分類されていることが確認される。ここで, $A_S = A_B$ の時には, 埋め戻すべき面積と供給源砂浜の面積が一致することから, これが津波湾形成の限界を表しているものと考えられる。図中の破線はこの条件を示しており, × と ● とを良好にグループ分けしていることが分かる。

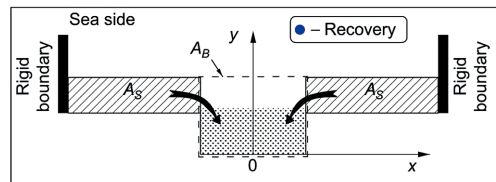


図6-1 決壊面積 A_B と周辺砂浜面積 A_S の定義 (津波湾非形成のケース)

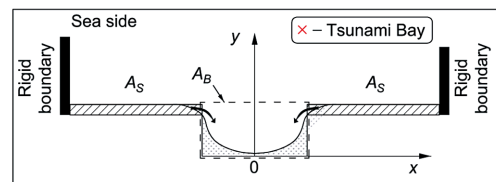


図6-2 決壊面積 A_B と周辺砂浜面積 A_S の定義 (津波湾形成のケース)

これより, $A_S = A_B$ が津波湾の形成条件となると結論できる。

健全な砂浜の保全是良好な海岸環境の維持に貢献するばかりでなく, 将来に発生すると予想される大規模津波災害時に津波湾の形成を回避することを可能ならしめるものであることが本研究により示された。津波湾の形成を回避することは, そ

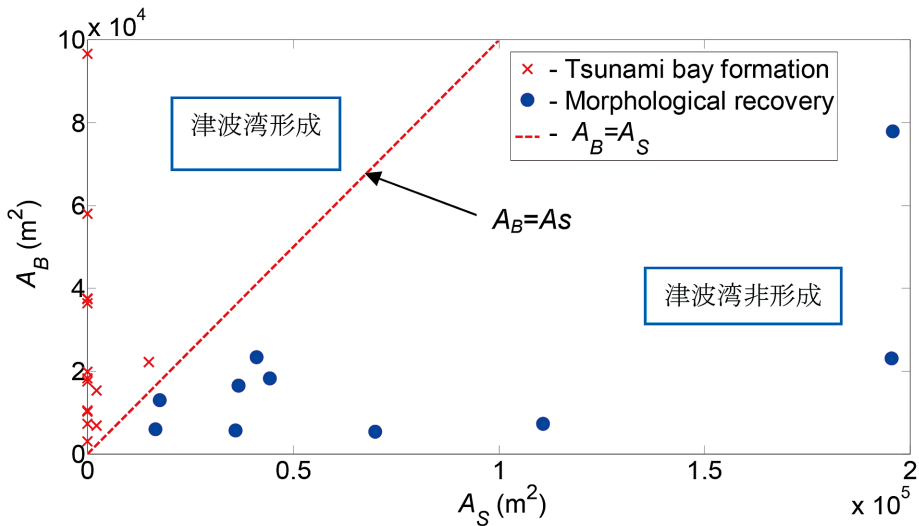


図7 津波湾発生条件 (●：津波湾非形成箇所，×：津波湾形成箇所)

の後の海岸堤防の復旧にも益するものである。このように、本研究の成果は十分な砂浜面積を維持することのベネフィットとして、津波湾形成の回避という新たな観点を付加できることを示している。

5. おわりに

本研究においては、東北地方太平洋地震後の山元海岸における地形の回復状況に関する検討を行った。以下に主要な結論を示す。

- (1) 東日本大震災津波による山元海岸における海岸決壊箇所について、その後に津波湾が形成された箇所とそうでない箇所を分類し、その変形過程を明らかにした。
- (2) 津波湾の形成・非形成を分類する図を得た。本研究の成果は、砂浜を維持することの意義として、大規模津波被災後において津波湾の形成を防ぐという新たな効用があることを示している。

謝辞

本研究を行うに当たり、(財)河川環境管理財団による河川整備基金の助成を受けた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

引用文献

- 1) Tanaka, H., Tinh, N.X., Umeda, M., Hirao, R., Pradjoko, E., Mano, A. and Udo, K.: Coastal and estuarine morphology changes induced the 2011 Great East Japan Earthquake Tsunami, Coastal Engineering Journal, Vol.54, No.1, 2012.
- 2) Tanaka, H., Adityawan, M.B., Udo, K. and Mano, A.: Breaching and tsunami water drainage at old river mouth locations during The 2011 Tsunami, Proceedings of 34th International Conference on Coastal Engineering, 2014.
- 3) Vo Cong Hoang, Hitoshi Tanaka and Yuta Mitobe: Theoretical study on the recovery process of estuary adjacent to the concave landform after the tsunami, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, pp.I_31-I_36, 2015.
- 4) Vo Cong Hoang, Hitoshi Tanaka and Yuta Mitobe: Theory for backfilling of tsunami-induced beach erosion, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. B3-71, 2015.
- 5) Mano, A., Tanaka, H. and Udo, K.: Destruction mechanism of coastal levees on the Sendai Bay Coast by 3.11 Tsunamis, Proceedings of 33rd International Conference on Coastal Engineering, 2012.
- 6) Udo, K., Takeda, Y., Takamura, M. and Mano, A.: Serious erosion of the southern Sendai Coast

- due to the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami and its Recovery Process, In *Post Tsunami Hazards; Reconstruction and Restoration*, eds: V. Santiago, Y. Kontar and Y. Kaneda. Springer, 2014.
- 7) Liew, S.C., Gupta, A., Wong, P.P and Kwoh, L.K.: Recovery from a large tsunami mapped over time: The Aceh coast, Sumatra, *Geomorphology* Vol.114, pp.520–529, 2004.
 - 8) Choowong, M., Phantuwongraj, S., Charoentitrat, T., Chutakositkano, B., Yumuang, S. and Charusiri, P.: Beach recovery after 2004 Indian Ocean tsunami from Phang-Nga Thailand, *Geomorphology*, Vol.104, pp.134–142, 2009.
 - 9) 槻山敏昭・木村 晃・高木利光・橋本 新：仙台湾南部海岸におけるヘッドランドの漂砂捕捉率について，*海岸工学論文集*，第50巻，pp.521–525，2003.
 - 10) 三浦佑輔・南 将人・有働恵子・真野 明：仙台湾南部海岸におけるヘッドランド周辺の土砂輸送解析，*海岸工学論文集*，第55巻，pp.571–575，2008.
 - 11) 加藤史訓・野口賢二・諏訪義雄・木村 晃・河合雅史・高木利光・小俣雅志：東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野南部での海岸堤防被災・洗掘に関する調査，*土木学会論文集 B2 (海岸工学)*，第68巻，pp.1396–1400，2012
 - 12) 有働恵子・田中 仁・真野 明・武田百合子：東北地方太平洋沖地震津波による宮城県仙台湾南部海岸の海浜変形特性，*土木学会論文集 B2 (海岸工学)*，Vol.69, No.2, pp.I_1391–I_1395, 2013.
 - 13) 片野正章・三浦義昭・日野口巖・宇多高明・五十嵐竜行・大木康弘・三波俊郎：仙台湾南部山元海岸で観測された津波の戻り流れによるバーの消失，*土木学会論文集 B2 (海岸工学)*，Vol.70, No.2, pp.I_1411–I_1415, 2014.
- (投稿受理：平成27年8月18日
訂正稿受理：平成27年11月30日)

要 旨

東日本大震災津波による山元海岸における海岸決壊箇所について，その後に津波湾が形成された箇所とそうでない箇所を分類し，その変形過程を明らかにした。また，津波湾の形成・非形成を分類する図を得た。本研究の成果は，砂浜を維持することの意義として大規模津波被災後において津波湾の形成を防ぐという新たな効用があることを示している。