2011年大津波による福島県岩間佐糠海岸 における砂州の大変形と津波被害

宇多 高明¹・星上 幸良²・野志 保仁³・酒井 和也⁴

¹正会員 (一般財団) 土木研究センター常務理事なごさ総合研究室長
兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)
E-mail:uda@pwrc.or.jp

²正会員 国際航業株式会社第一技術部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)
E-mail: yuki-yoshi_hoshigami@kk-grp.jp

³正会員 (有) アイコムネット環境コンサルティング部
(〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-16-11 エルヴァージュ神田錦町4F)
E-mail:noshi@icomnet.jp

⁴正会員 (一般財団) 土木研究センターなごさ総合研究室 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)
E-mail:sakai@pwrc.or.jp

2011年3月11日午後2時46分、牡鹿半島の東南東130 km沖を震源地とするマグニチュード9.0の大地震（東北地方太平洋沖地震）が発生した。この地震に伴い、三陸沿岸をはじめとする太平洋沿岸に大津波が襲来した。本研究では、福島県南部の岩間佐糠海岸を対象として、津波前の2010年5月29日と、津波後の2011年5月30日に実施した現地踏査時の現地写真より、まず津波による砂州の変化を明らかにし、その上で海岸護岸の破壊状況と津波浸水深の調査結果について述べた。さらに砂州の変化状況については2011年12月27日にも追加調査を行い、その後の砂州の変形状況を調べた。

Key Words : 2011 Great Tsunami, Iwama-sanuka coast, inundation, shoreward sand transport, shoreline change

1. まえがき

2011年3月11日午後2時46分、牡鹿半島の東南東130 km沖を震源地とするマグニチュード9.0の大地震（東北地方太平洋沖地震）が発生した。この地震に伴い、三陸沿岸をはじめとする太平洋沿岸に大津波が襲来し、甚大な被害をもたらした。津波後、東日本沿岸における津波痕跡高を調べるために合同調査団が組織され、このグループにより東日本沿岸における詳細な津波高の分布が調べられた^{1) 2)}。津波は福島県沿岸をも襲い、福島県南部を流れ、太平洋に注ぐ鮫川の河口北側に位置する岩間佐糠海岸でも大きな被害が出た（図-1参照）。過去、鮫川は河口部において北向きに大きく蛇行して太平洋に注いでいたが、常磐共同火力勿来発電所の建設に伴って導流堤が設置された結果、導流堤に沿って直線的に海へ注ぐようになった³⁾。この結果、旧右岸砂州は旧河道を挟んで沖合に取り残された。この旧右岸砂州は一種の防波堤の役割を果たしていたが、大津波により大きく変形した。

同時に、砂州背後に延びていた海岸護岸のパラペットが破壊されたために大量の海水が陸地になだれ込み、大きな被害が出た。佐藤ら⁴⁾は、当海岸を対象として流出家屋と屋根が残された家屋の分布や、破壊された護岸の状

図-1 福島県の岩間佐糠海岸の位置

況を津波前後の空中写真の比較によりを示した。この研究は、緊急調査として行われたため、被災の具体的状況や津波高の分布まで測定されていなかった。本研究では、津波前の2010年5月29日と、津波後の2011年5月30日に実施した現地踏査時の現地写真より、まず津波による砂州の変化状況を明らかにし、その上で海岸護岸の破壊状況と津波浸水深の調査結果について述べる。なお、測定地点はGPSにより、また標高は地震津波を受けたものの倒壊せずに残された護岸（2箇所）を基準としてレベルで測量し、後に当海岸の地盤沈下量0.5 mを考慮して補正した。また、砂州の変化状況については2011年12月27日にも追加調査を行い、その後の砂州の変形状況を調べた。

2. 津波による旧鮫川右岸砂州の流出とその後の変形

津波襲来前の2010年5月29日には、図-2に示すように海岸沖に旧鮫川右岸砂州が伸びていた。野志ら³⁾が示したように、この砂州の構成材料は細砂中砂であり、それらの含有率は細砂37.2 %、中砂62.8 %であった。図-2の矢印Aは砂州上に残された微高地（浚渫土砂が盛り上げられたもの）で、その頂部は植生帯で覆われていた。また、この微高地Aの手前（北）側には高波浪時の砂州越流によって岸向きに旧河道へと運ばれた砂が細長く堆積していた。このような砂州が、2011年5月30日には、図-3に示すように微高地Aを残してその北側の砂州は大きく変形し、砂量が減少しつつ岸向きに運ばれた。一方、矢印Bで示す海岸護岸は全壊したが、護岸と平行に敷き並べられてあった中空三角ブロックはほぼ原位置を保った。微高地Aは周辺と比べて標高がわずかに高かったため津波力が削がれ、同時に砂州上部が密生した植生帯で守られていたため、砂州の岸側には砂は運び込まれなかった。しかし、その北側では砂州が侵食され砂が岸向きに運ばれた。この砂州は中砂細砂で構成されていたが、粒径が小さいため津波時の流動によって大きく移動することになった。図-2、3に示す津波前後における旧右岸砂州の変形は、砂が津波作用により岸向きに運ばれたことを示している。津波の戻り流れによる海浜の侵食の例は仙台湾の荒浜海岸で観察された⁵⁾が、岩間佐糠海岸は砂が岸向きに運ばれた典型事例であった。その理由には、①津波の戻り流れにより砂が沖合へと運ばれて海浜土砂量が損失したこと、②地震後約0.5 mの地盤沈下により砂浜を形成していた砂量が減少したことが関与し、海浜が元の場所では不安定となり、水深の小さい場所へと移動して安定化したことが指摘できる。この砂州は、その後も変形を続け、2011年12月27日には図-4に示す状態となった。図には砂州に残されていた微高地Aの位置も記

入してある。その位置は、発電所の排水口沖の導流堤との相対位置関係から定めた。津波前、図-2に示したように汀線はAより海側にあったが、12月27日の踏査では微高地Aは侵食されて完全に消失し、汀線形状は直線状となった。このように砂州は波の作用下で陸側に押し付けられるように変形したことが分かった。

図-2 岩間佐糠海岸沖の砂州状況（2010年5月29日撮影）

図-3 岩間佐糠海岸沖の砂州状況（2011年5月30日撮影）

図-4 岩間佐糠海岸沖の砂州状況（2011年12月27日撮影）

3. 津波浸水深の測定

岩間佐糠海岸では、大津波により大きな被害が出たが、2011年5月30日には個々の家屋の被災状況を調べるとともに、浸水深の調査を行った。この結果14地点において津波痕跡を確認することができた。2011年3月12日撮影の衛星画像（図-5）には写真撮影地点の番号を示す。また、図-6は国土地理院により2011年7月12日に撮影された斜め写真に調査地点を落としたものである。図-5、6に示すように、周辺に津波痕跡が残されていた家屋は台地の下部に沿って帯状に並んでいたものがほとんどで、竜宮岬の陰の外側では全壊して津波痕跡を見出すのが困難な状態であった。

図-5に示す14地点のうち代表7地点での被害状況は次のようである。まず、地点2では、図-7のように家屋の一階は全壊していたが、二階のガラス窓は無傷のまま残されていた。したがって津波痕跡は一階と二階の中間にあることになるが、一階の屋根の左端（海側）付近で瓦

がめくれており、瓦に鉛直上方の力が加わったと見られることから、図-7に示す破線の高さが津波痕跡と推定された。この場合、津波の高さは地盤面上3.0 m(T.P.+6.1 m)であった。なお、二階の瓦も変形しているが、二階のガラス窓が無傷で残されていることから、二階の瓦は津波ではなく地震動によるものと推定される。また、一階の屋根瓦のめくりあがりは以下で述べる地点4、6、7、9で共通的に見られた現象であった。

地点4では、地点2と同様図-8のように一階は津波が貫いていたが、再び屋根瓦にめくりあがりが生じており、このことから津波の浸水深は地上3.6 m(T.P.+5.8 m)と推定された。家屋も一階は全壊状態にあり窓は流失していたが、津波に対してほとんど抵抗しないカーテンはそのまま残された。地点6では、図-9のように一階建ての建物の瓦葺屋根がほぼ全部流失しており、地盤からわずかに瓦が残された部分までの高さは地上3.9 m(T.P.+7.3 m)であった。またこの家屋では、海側から家屋へと侵入した津波は裏側から流出したため側面にある玄関は流失し

図-5 岩間佐糠海岸の空撮写真（2011年3月12日国土地理院撮影）と測点No.1～No.14の位置

図-6 岩間佐糠海岸の斜め写真（2011年7月12日、国土地理院撮影）

図-7 地点 2 の家屋の屋根に残された津波痕跡

図-8 地点 4 の家屋の屋根に残された津波痕跡

図-9 地点 6 の家屋における津波痕跡

図-10 地点 6 の家屋に並んで建つ家屋の被災状況

図-11 地点 7 の家屋の屋根に残された津波痕跡

図-12 地点 9 の家屋の屋根に残された津波痕跡

図-13 地点 9 の家屋の側壁の破壊状況

図-14 地点 11 の家屋の側壁の破壊状況

図-15 地点 14 の家屋側壁に残された津波痕跡

大きな穴が残された。このことから津波は洪水時のように浸水深が徐々に上昇するのではなく、強大な運動量を持った水塊が家屋を突き抜けるという特徴を有していたことが分かる。図-10は、図-9に示す家屋の右側の家屋の被災状況を示す。ここでは一階の壁は壊され家財道具が流されていたが、二階のガラスは無傷で残されていた。

図-11に示す地点7でも屋根瓦のめくれ上がりが生じ、その高さは地上3.7 m(T.P.+8.1 m)にあった。同様に図-12は地点9の状況を示す。家屋の右手前が海側である。ここでも一階建ての建物の屋根瓦のめくれ上がりが生じ、破線位置の標高はT.P.+7.8 mであった。この建物では側面の壁も剥がれ落ちていることから津波襲来時一階が完全水没するような浸水深であり、その後側面を突き破って津波が流出したと推察される。同じ建物の側面を示すのが図-13であるが、ここでの浸水深は地上3.4 m(T.P.+7.4 m)であった。さらに、地点11では、図-14のように一階の側壁に流木が突き刺さっていることから、これが津波の浸水深を与えると見られ、その高さは地上

3.1 m(T.P.+7.2 m)にあった。二階のガラス窓がそのまま残されているのに対し一階が完全破壊状態にあり、両者がよい対応を示す。最後に、地点14では鉄骨モルタル製の家屋の一階部分が全壊していたが、図-15に示すように家屋の壁には地上2.6m(T.P.+6.1 m)の水位痕跡が見出された。家屋の正面、側面、裏面には津波が貫通したため大きな穴が残されていた。

表-1には、現地で確認された14地点の地盤高、浸水深、および津波痕跡を一括して示す。測定地点の地盤高が高い地点1と地点11を除いた11地点での浸水深の平均値は3.4 m、最大値は4.0 mであった。この値はちょうど家屋の一階を水没する深さである。また、最大津波痕跡高は地点8で遡上高として測定されたT.P.+10.2 mであった。また家屋周辺での浸水深として測定された津波高の最大値は、地点7のT.P.+8.1 mであった。岩間佐藤海岸の護岸高は、北端から約210 m区間ではT.P.+5.8 m、これに続く約310 m区間ではT.P.+4.6 mであったが、津波高は護岸の天端高をはるかに超える高さであった。

4. 海岸護岸の破壊

岩間佐糠海岸の護岸は、当初河川護岸として築造ならびに嵩上げがなされたが（建設時期は不明）、現在は岩間佐糠海岸の護岸として管理されている。護岸の配置としては、北端から約210 m区間は天端高がT.P.+5.8 m、根固め消波工の重量は4 t、これに続く約310 m区間では天端高がT.P.+4.6 m、根固め消波工の重量が5 t、さらにその南側約480 m区間での護岸天端高はT.P.+4.6 m、根固め消波工の重量は2 tであった。これらのうち常磐共同火力勿来発電所北端から旧河口（北端）までの約900 m区間での護岸破壊が著しかった。

図-16は、遠方に常磐共同火力勿来発電所を望みつつ岩間佐糠海岸の破堤箇所を示す。護岸に沿って設置された中空三角ブロックはほぼ原形を保っていたが、護岸は倒壊し、破断されたコンクリート護岸の一部が津波により陸側に運ばれたことが分かる。ほぼ同じ場所において護岸の表のり面の破断状況を撮影したのが図-17である。厚さ約30 cmの表のり面がきれいに破断し、陸側に運ばれていた。撮影方向を南から北へと反転し、海岸護岸の破壊状況を北向きに撮影したのが図-18である。ここでも現地盤から突出した部分はきれいに破断し、破壊された護岸が陸側に運ばれていた。護岸の破断面の幅は約2 mであり、基礎として敷設されていた礫層が露出していた。

図-19は陸側に運ばれた護岸の一部を示すが、運ばれた堤体が90°回転していることを考慮すれば、護岸の破断面の幅はほぼ2 mであり、図-18に示す敷幅とほぼ一致

表-1 福島県岩間佐糠海岸の津波痕跡高

地点No.	地盤高 (T.P. m)	浸水深 (m)	津波痕跡高 (T.P. m)
1	6.3	1.4	7.7
2	3.1	3.0	6.1
3	3.9	3.2	7.1
4	2.2	3.6	5.8
5	2.8	4.0	6.8
6	3.4	3.9	7.3
7	4.4	3.7	8.1
8	-	-	10.2 (遡上)
9	4.0	3.4	7.4
	-	-	7.8
10	3.3	3.8	7.1
11	4.1	3.1	7.2
12	3.2	3.1	6.3
13	5.7	1.0	6.7
14	3.5	2.6	6.1

する。また図-18では護岸の破断面の陸側には礫が敷き詰めてあったが、図-19の転倒した護岸の底にはコンクリート面に多数の礫が付着していることから、基礎としての礫層上にコンクリートが打設されて護岸が造られたことが明らかである。さらに北側では、護岸の表のり面の破断面に図-20の状況が見られた。表のり面に穴が開いており、その中央に腐食した木杭が残されていたのである。この木杭穴は、沿岸方向に一定間隔で並んでおり（図-20の矢印C参照）、コンクリート打設時に型枠を固定するために使われたもので、この護岸が古い時代に造られたことを示している。また、その北側では図-21

図-16 常磐共同火力勿来発電所を望みつつ岩間佐糠海岸の破堤箇所を撮影

図-17 護岸の表のり面の破断状況

図-18 北向きに海岸護岸の破壊状況を撮影

図-19 陸側に運ばれた護岸の底

図-20 護岸の表のり面の破断面

図-21 護岸の根継ぎのために挿入された約0.3 m間隔の鉄筋

図-22 多数の鉄筋の突出(D)と多数の穴(E)

のように、護岸の根継ぎのために新設のコンクリートを約0.3 m間隔に並んだ鉄筋で固定する手法が取られていたが、佐藤ら⁴⁾も指摘したように、それがそのまま抜けていた。図-22も同様な状況を示すが、多数の鉄筋が突出しているコンクリートDは左端のコンクリートEの上に載せられており、そのためEには多数の穴が残されている。護岸Eの上に載せられるようにして護岸の嵩上げが行われたが、それが90°後側に回転して陸側に落ち込んだことが分かる。その場合、鉄筋がそのまま抜けており変形もしていないことから、護岸D、Eは十分固着せず、ただ載せられた状態に近かったと推定される。また、同じ地区の調査で、佐藤ら⁴⁾は、堤防の破壊は、地盤面と同じ位置にある海側のコンクリートの打ち継ぎ目で生じているものが多く、鉄筋(径16 mm、挿し筋の長さは30 cm程度)は引っ張り破断しているか、抜け出しているものが多かったとしている。

5. まとめ

海岸堤防などの防護施設は、発生頻度が低いL2レベルの大津波に対して防護を期待するものではなく、より高頻度で発生するL1津波時に海岸部にある財産を守り、人々の避難の助けとなることを期待するものではある。

しかし、大津波のエネルギーを幾分でも削ぐことができれば避難時の助けとなる機能は依然として期待される¹⁾。このようなことから、各地の海岸に過去から設置されてきた堤防護岸が機能を発揮できるように健全に保つことは大事なことである。岩間佐糠海岸の護岸の被災状況によれば、護岸の製作方法から考えて昭和30、40年代に造られたものや、古い護岸を基礎としてその上に根継ぎされたものがほとんどであった。現在の護岸の築造基準に合わない上記と同様な構造を有する施設は全国各地にあると考えられ、さらに建設後数十年が経過して空洞化や老朽化が進んでいることを考慮すれば、このような護岸の防護性能をいかにして保つかが今後大きな課題となると考えられる。また、護岸状況を外側から点検してもここで明らかにしたような構造上の弱点は明らかにすることが難しいと考えられるので、空洞化や老朽化した堤防・護岸について代表箇所の破壊検査を行うことによる施設の信頼性確保も必要と考えられる。

参考文献

- 1) Shibayama, T. : Field survey of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami disaster and future tsunami protection, Proc. 6th Inter. Conf. on Asian and Pacific Coasts, pp. 79-82, 2011.
- 2) Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group, 2011. <http://www.coastal.jp/tsunami2011/>.
- 3) 野志保仁・宇多高明・星上幸良・田村憲史：福島県の鮫川河口を含む竜宮岬～勿来漁港で起きつつある海浜変形，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.67, No.2, I_536-I_540, 2011.
- 4) 佐藤慎司，武若聡，劉海江，信岡尚道：2011年東北地方太平洋沖地震津波による福島県勿来海岸における被害，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 67, No.2, pp.I_1296-I_1300, 2011.
- 5) （一般財団）土木研究センターなぎさ総合研究室：東日本大震災津波災害状況調査，<http://pwrc-nagisa.jp>, 2011.

DEFORMATION OF SADY BEACH AND INUNDATION ON IWAMA-SANUKA COAST IN FUKUSHIMA PREFECTURE DUE TO THE 2011 GREAT TSUNAMI

Takaaki Uda, Yuki Yoshi Hoshigami, Yasuhito Noshi and Kazuya Sakai

A massive earthquake with a magnitude of 9.0 occurred on March 11, 2011, at 14:46 with an epicenter 130 km offshore of Oshika Peninsula in Miyagi Prefecture. After the earthquake, a large tsunami was generated owing to the abrupt crustal subsidence and elevation and inundated east Japan's coastline. We carried out field observations to investigate the deformation of the previous river mouth bar by the comparison of oblique photographs as well as the investigations of the damage of the seawalls and tsunami inundation depth on the Iwama-sanuka coast, located north of the Same River in the southern Fukushima Prefecture. The results of the field observations on the deformation of sandy beach and the inundation of the Iwama-sanuka coast were reported.