

東北地方太平洋沖地震で発生した津波石

～ 岩手県、宮城県での発生状況調査速報～

埼玉大学大学院理工学研究科・(兼)環境科学研究センター 教授 田中 規夫

問い合わせ先 E-mail:tanaka01@mail.saitama-u.ac.jp

埼玉大学大学院理工学研究科博士後期理工学専攻

Nandasena, N.A.K.

埼玉大学 名誉教授

佐々木 寧

問い合わせ先 E-mail:ysasaki@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに

2011年3月11日に発生した「2011年東北地方太平洋沖地震」は、マグニチュード9.0の巨大地震であり、最大津波遡上高は、34mにも及んでいると報告されている(気象庁より)。今回の災害では、地震による直接的な被害よりも、発生した巨大津波(以後東日本大震災津波という)による被害が甚大であった。

埼玉大学大学院理工学研究科の水理工学研究室では、2004年12月に発生した「インド洋大津波」をきっかけとして、津波被害の軽減をはかるため、砂丘、海岸林の軽減効果について調査、研究を進めてきており、現在「アジア大都市周辺の環境・防災問題解決に寄与する湿地・植生バイオシールド工学の展開」の研究プロジェクトも進行している。わが国で発生した今回の大震災に関しても、研究室全体で調査、研究に取り組んでいる。

この報告では、岩手県と宮城県南部を中心とし、現地調査で記録された津波石の事象を中心に速報的にまとめたものである。

なお現地調査にあたっては、岩手県宮古市、宮城県気仙沼市唐桑町観光協会の他、地元住民の方々の情報提供、ご協力をいただいた。

1. 津波石とその研究

地震や巨大津波は、沿岸施設や家屋などの人工構築物の破壊だけでなく、地盤沈下や沿岸斜面の侵食、崩壊、崩落などを引き起こし、時に景観をも変える作用をもたらしている。とくに、津波によって海底や沿岸部から巨大な岩石が、移動、打ち上げられる場合があり、これを津波石と呼んでいる。

これまでも1707年の宝永地震の影響とされる和歌山県串本市の橋杭岩で10tを越える津波石、沖縄県石垣島では、1711年の八重山地震(明和の大津波)時のものとされる津波石、岩手県宮古市にも1611年の慶長大津波時のものといわれる撰待の大岩などが知られている。

こうした津波石は、その重量と移動距離などから、当時の津波の規模を推し量ることができ、産業技術総合研究所などでも地震暦を知る上でも重要視され、研究対象として調査が進められている。これまでも津波石の研究として、Goto et al. (2010)の琉球列島での研究やNandasena et al. (2011)などで詳細な研究がある。

三陸海岸では、過去にも津波石を含め、岩石の崩壊、移動があったことが知られている。その一例として、唐桑半島での景勝地の一つ、巨釜海岸には、高さ 16m程の柱状の岩があり、1896 年の明治三陸大津波の際、先端部分 2mが欠損したことから折石と呼ばれている。

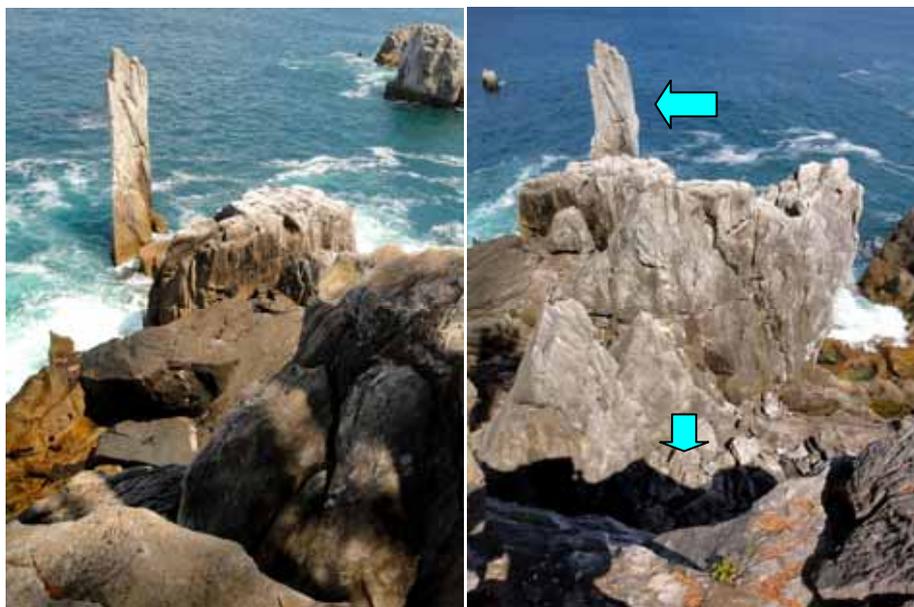


図1 唐桑半島巨釜海岸の折石。背部の谷間には、その他にも破壊・崩落したと見られる多くの岩石の堆積が観察される。

2. 津波石の類型

津波石には、その発生起源から以下の三タイプに類別されている(Goto, K. et al. 2010)。

Submerged Boulder 海中から移動し、陸域に打ち上げられた津波石

Sub-Aerial Boulder 一部水に浸かる水際や陸上にあったものが移動した津波石

Cliff-Top Boulder 海岸の岩礁など、岩場の懸崖部が崩壊して移動した津波石

津波石の発生場所、地域が異なることから、津波石の種類も多様で、熱帯地方では珊瑚石、その他火成岩、堆積岩、変成岩などと様々である。一方で、こうした自然石に限らず、人工構築物(セメント)そのものや破損部分が津波で移動することもあり、上記の類別に準じて考察することもできる(本稿 8 を参照)。調査対象としての津波石は、発生地、移動距離などが確認されることが望ましいが、ここでは津波で移動した物体についての記録である。

3. 調査対象地域

調査・観察した地点は以下のとおりである。調査記録には人工構築物も含まれる。

地域名	GPS 値
岩手県 久慈市 野田	40° 06' 34.79" N

	141 ° 49	27.50 E
宮古市撰待	39 ° 48	42.06 N
	141 ° 58	30.84 E
田老町山王岩	39 ° 43	49.75 N
	141 ° 58	46.52 E
宮城県気仙沼市唐桑御崎	38 ° 51	27.71 N
	141 ° 40	25.54 E
唐桑、神の倉	38 ° 52	03.14 N
	140 ° 54	11.69 E
七ヶ浜町菖蒲田浜	38 ° 16	54.97 N
	141 ° 03	32.70 E



図 2 宮城県石巻市江畑地区の津波石と思われる巨石 大船渡市内の津波石と思われる巨石
いずれも発生地など特定できないため確認はできない(2011年5月撮影)



図 3 3.11 東日本大震災の地震・津波時の斜面崩落と海域に横たわる津波石と思われる巨石
(宮城県七ヶ浜町)(2011年5月撮影)

4. 津波石の例

4.1 宮古市撰待

岩手県宮古市撰待地区には、1611年の慶長大津波時の津波石だとされる撰待の大岩がある。今回の津波でも多数の津波石が発生している。今回の津波石で最大のものは、私有地の農地に打ち上げられ、その後処分されて現在は観察できない。興味深い点は、江戸時代に打ち上げられたといわれる「撰待の大岩」のすぐ手前に、今回も巨石が移動してきており、巨大津波が繰り返し発生することを物語っている。

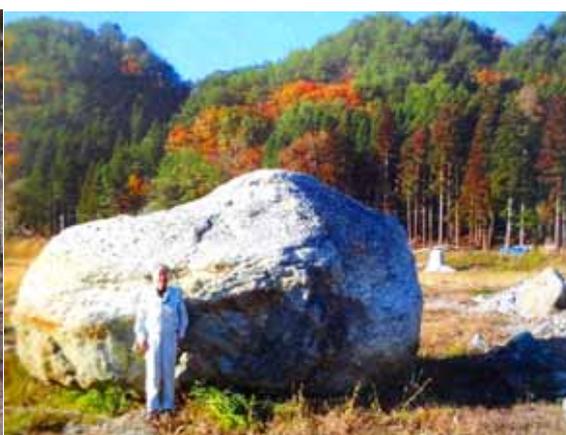


図4 1611年の慶長大津波時の津波石だとされる撰待の大岩(2012年3月6日撮影)

図5 3.11の最大の津波石、処分されて現存しない(宮古市田老出張所提供2011年6月撮影)



図6 宮古市撰待の大石(後方、苔や地衣類が生育)と今回の津波で移動してきた津波石(手前、苔や地衣類の生育なし、欠損痕、擦痕あり)
(2012年5月14日撮影)



図7 撰待の大岩の近くにある津波石、同時期の津波石と思われ、数個存在する



図8 破壊された撰待の防潮水門と津波石の供給源



図9 鉄製の防潮水門は破壊され、直線距離で約600m流されている(2011年5月撮影)



図 10 津波石の発生源となったと思われる防潮水門そばの崩壊斜面
崩落した巨石が多数ある（2012年5月撮影）



図 11 東日本大震災津波で発生した津波石の例（2012年3月6日撮影）

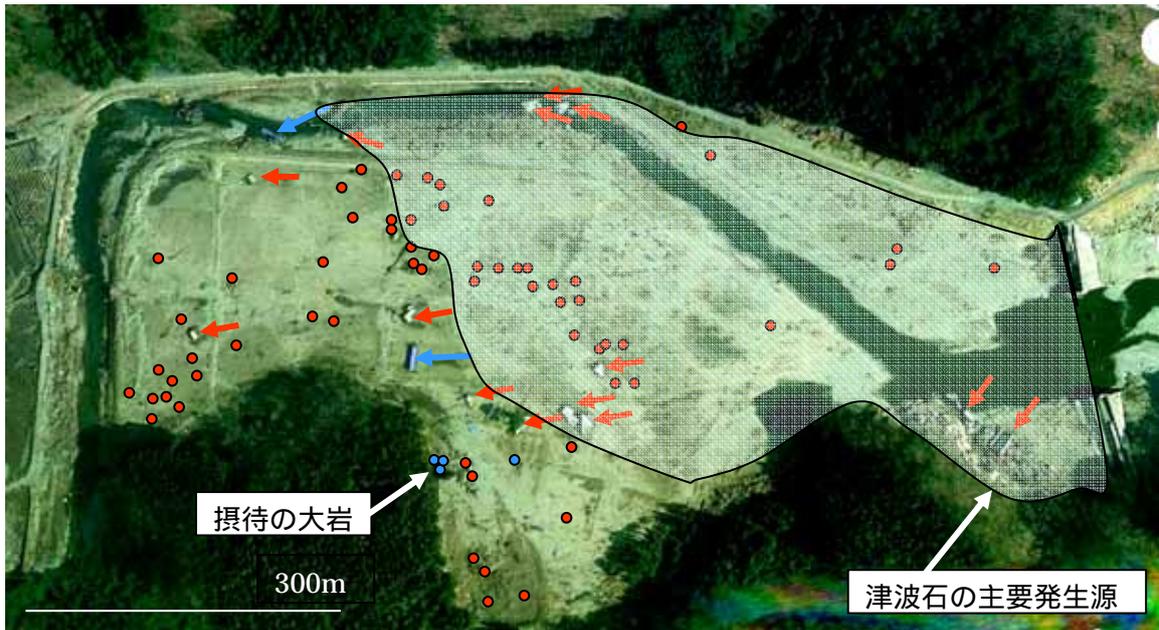


図 12 津波石の分布概略図、編目域は中小の礫が多数散在する地域（宮古市撰待）

基図は Google Earth 画像(2011.3.24)を利用

- ← 水門の鉄構造物漂着点
- ← 防潮堤の破損部位漂着点
- 3.11 津波時の主要津波石
- 江戸時代の津波石（含撰待の大岩）

5. 津波石のサイズ

今回の調査で、現場で計測された津波石のサイズと推定重量は、以下のようである。
この表には最大級の津波石のみを掲載

表 1 津波石のサイズと推定重量

津波石	サイズ	推定重量
撰待の大岩（江戸時代）	8 × 4 × 3.6 m	285 t
撰待の津波石（2011.3.11）	4.8 × 1.7 × 1.4 m	30 t
気仙沼市唐桑町神の倉	4.5 × 3.2 × 1.9 m	77 t
唐桑町御崎	2 × 1.6 × 1.4 m	12 t
宮古市田老町三王岩	5.4 × 4.2 × 2.9 m	167 t

5 唐桑半島、神の倉（気仙沼市唐桑町）の例

気仙沼市唐桑町では、唐桑半島の半島先端部北東側で、4ヶ所の入り江に津波石が打ち上げられたと報告されている。その最大のものが神の倉尻の入り江で、大小数個の津波石が打ち上げられている。元々あった巨石も移動しているのが確認された。打ち上げられた津波石は、漁民が「蛸の住み家」と、漁場の一つとして使っていた岩で、その位置も知られている。その位

置から推定すると移動距離は約 300mとなる。貝殻・石灰分が表面に付着し、白色で海底から移動してきたことが明瞭に区別でき、Submerged Boulder の例である。

その他の例は、多数の小規模の岩石が打ち上げられているが、今回の津波で移動したもののか、どこから移動してきたものなのか確認できない。しかし、その岩石の多くは、近くの岩場が破損して打ち上げられたものと思われ、岩場には多くの破損の痕跡が観察できる。一方、白色の貝殻・石灰分が付着した岩石については、今回の津波で打ち上げられたものであることが明瞭である。

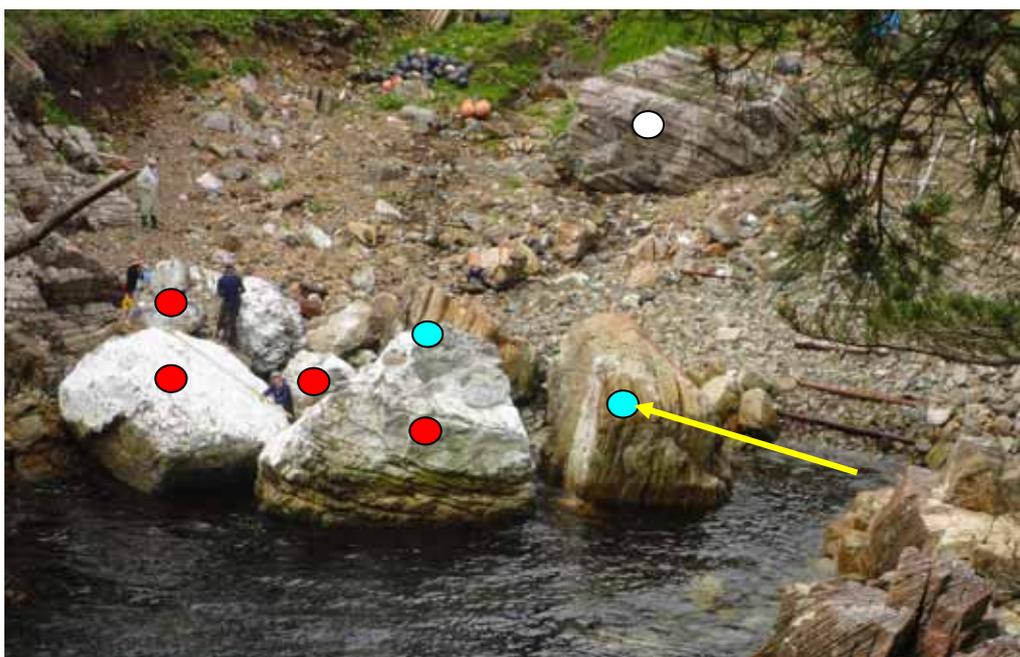


図 13 唐桑町神の倉尻の津波石の例

- 今回の津波で打ち上げられた津波石
- 今回の津波で移動し、分離した津波石
- 過去の津波で移動した津波石と考えられる岩石



図 14 移動した津波石（褐色）と海中から打ち上げられた津波石（白色）



図 15 震災以前（2010年3月22日撮影、ビジターセンター提供）の写真

- 震災以前にあった巨石
- ⇩ 震災後、地盤沈下で水中に没したと思われる岩

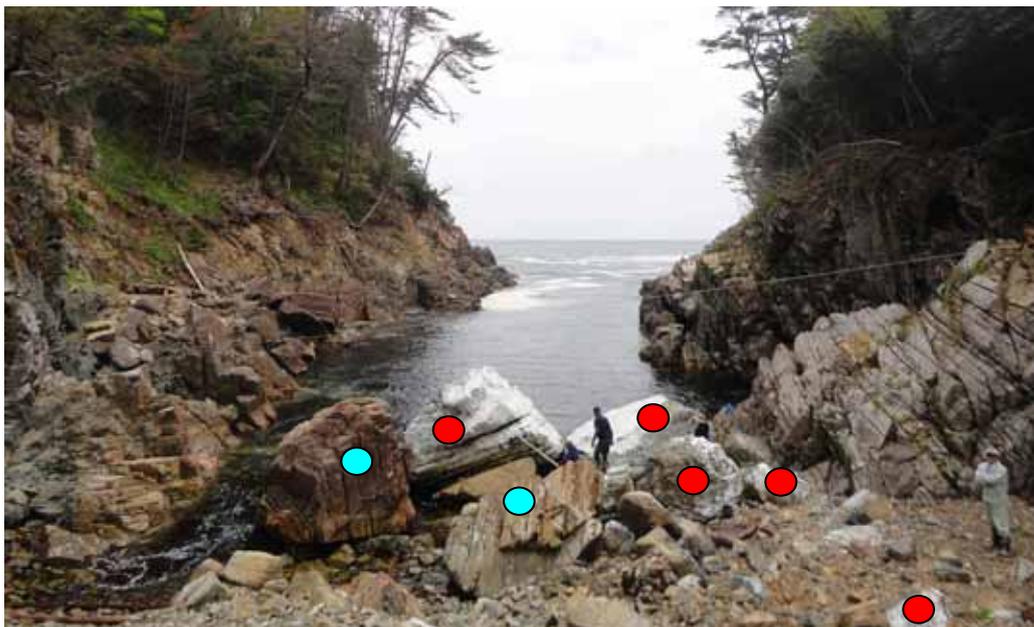


図 16 震災以後の写真（2012年5月16日撮影）

- 震災以前にあった岩石、移動し、破損し二つに分離している
- 今回の津波で打ち上げられた津波石

この場所での津波の遡上高は、打ち上げ痕跡物から写真の最上部、クロマツ林内にまで及んでいる。入り江内にあった二つの岩は見えない



図 17 多数の津波石の蓄積の例、白色の岩石が今回海底から打ち上げられたものと思われる（ビジターセンター近くの入り江）● 今回の津波で海底から打ち上げられたと思われる津波石 Submerged Boulder タイプ

5.1 唐桑半島御崎での破断と津波石の例

地震の震動と津波で、岩盤のクラック部分が破断し、移動、崩落した例も認められる。この場合は、破断した部分(面)と崩落した岩石が近くに存在しており、比較的容易に識別できる。こうして破断・崩落した巨石が、将来、津波石となって移動する可能性がある。



図 18 地震の震動と津波で破断し、崩落した巨石、近くに破断面が確認できる



図 19 新鮮な破断面の破壊・崩落石の例



図 20 破壊し崩落した岩石例とその破断面



図 21 破断し、ズレ動いた岩盤の例

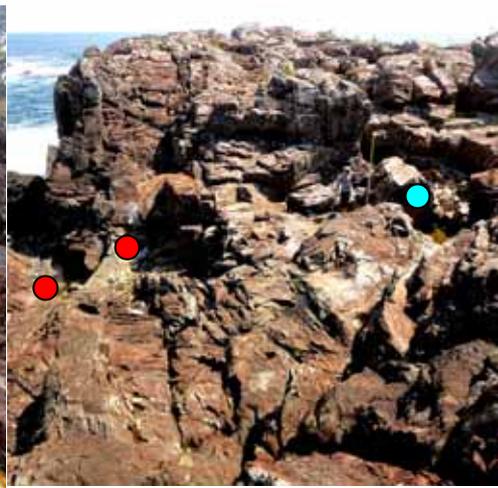


図 22 Cliff-Top Boulder 型の津波石発生の破断面 ● と移動、堆積位置 ●

6. 津波による破損、崩壊の例

先の唐桑半島での岩石の破断と崩落の例のように、海岸の岩礁や斜面の一部が破断し、崩落したが、波による移動はしていない例も数多く観察される。三陸陸中海岸に多い、海岸岩礁地帯およびその周辺に横たわる大小様々な岩石は、それぞれの履歴をもって存在しているということができよう。



図 23 それぞれの履歴をもつ海岸に横たわる大小様々な岩石（岩手県三陸海岸）



図 24 今回の津波では破壊されなかったが、過去に破壊、崩落があったと考えられる巨石群（岩手県宮古市山王岩）

7. 宮古市田老、三王岩の津波石

岩手県宮古市田老町の海岸にある山王岩は、景勝地として知られ、遊歩道の整備もされていた場所である。3.11の東日本大震災津波で斜面の遊歩道は、破壊、崩落し、海沿いの遊歩道には津波石が乗り上げている。遊歩道があった斜面の一部が崩落、新たな巨石や大小様々な岩石が供給され、また移動もしている。この場合、景勝地であることから、津波発生前の画像があり、津波前後の写真を比較することで、津波石の移動を確認することができる。



図 25 最大級の津波石、角度を変えて見た画像、周囲の小型の礫（明るい色）は、新たな崩壊地から、移動供給されたもの

7.1 津波前後の比較

津波発生前（グーグルサイトから入手）と津波発生後の画像（同じ立ち位置から撮影）を比較検討したのが以下である。



図 26 津波前の写真（グーグルサイトから）● 今回の津波で移動した巨石（図 27 ● に移動）



図 27 津波後の写真（同じ位置から撮影 2012 年 5 月 14 日）

● 最大の津波石 ● 新たな崩壊地と巨岩発生地

上記の津波前後の写真比較から、主要な岩石の移動が確認でき、今回の最大級の津波石は、水際近くにあった岩石が移動したもので、Sub-Aerial Boulder タイプの例である。

7.2 新たな崩壊

三王岩周辺では、遊歩道のあった斜面で新たな破壊、崩壊が生じており、大小、多くの岩石が供給され、その一部は単に崩落だけでなく、津波石となって移動している。既存の岩石は海焼けした黒褐色で、一部は、コケ類や植物が生育している。一方、新たな崩壊で供給された岩石は明るい茶褐色で、植生の繁茂はまったくない。



図 28 新たな斜面崩壊によって、三王岩周辺に供給された多数の岩石（明るい黄褐色の岩）



図 29 過去に崩落したと思われる既存の岩（● 植生と地衣類の生育あり）と今回の崩壊と移動で供給された岩（● 明るい黄褐色の岩）、写真右の岩では一部が欠損、崩落している。しかし、その堆積位置は不明。

津波発生前後の画像比較の結果、以下のようにまとめられる。新たな崩壊で、多くの岩石が供給されている。中小の礫で埋まった場所にあった植生（オオイタドリ；明るい緑）は、もとの位置で再生している。

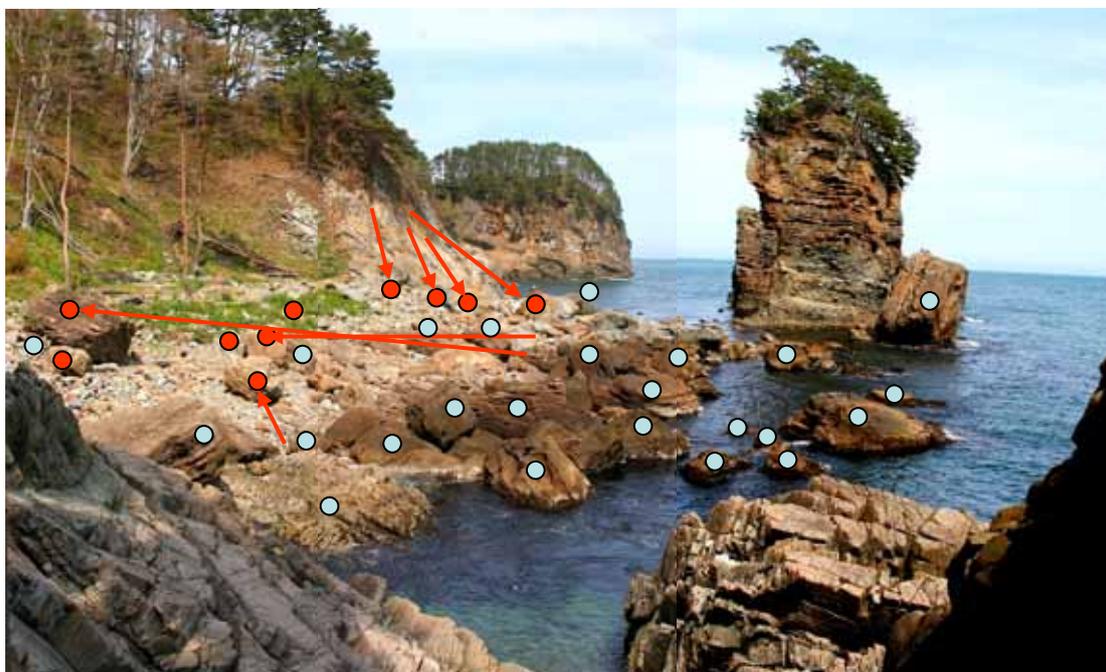


図 30 津波前の写真と現地調査から推察された三王岩周辺の岩石の移動

● 移動した岩石 ● 移動していない岩石

8. 人工構築物の移動の例

海岸の汀線部分に設置されるのがコンクリート製の消波ブロック類で、テトラポット型や方形ブロックを連結した床固め状のものなどがある。また壁状の防潮堤や水門もある。これらの構築物が津波によって破壊、移動した例も数多く観察された。これらは津波石とはいえないが、コンクリートの大型破片が、津波によって移動したメカニズムは類似している。

岩手県宮古市摂待の鉄製の水門ゲート（図 9）は、直線距離で約 590m 移動しており、小型の津波石は約 600m 移動したとみられる（図 12）。また、久慈市野田の消波ブロックは 140m、防潮堤の破損部位は約 60m 移動した。防潮堤が大きく破損、開口した場所では 120m 移動している（宮城県岩沼市の岩沼海岸、図 37）。気仙沼市唐桑、神の倉の津波石は約 300m 移動（図 13～16）と思われる。



図 31 仙台市荒浜の消波ブロックとその移動例



図 32 防潮堤の破壊で散乱する破片や消波ブロック（久慈市野田海岸）

図 33 砂浜海岸林内に打ち上げられた防潮堤の破片（宮城県仙台市海岸）



図 34 久慈市野田海岸の防潮堤の破片



図 35 石巻市渡波地区の防潮堤の破片



図 36 防潮堤の破堤部分と背後のマツ林内に打ち上げられた大型の破片（久慈市野田海岸）



図 37 防潮堤の破壊で移動した破片、移動距離は最大約 120m(宮城県岩沼市寺島海岸)

基図は Google Earth(2011.3.24)画像を利用

こうした津波石の発生、人工構築物の破壊片の移動は、陸域で発生する流木と同様、その移動は、人や家屋、構造物に対し大きな破壊力をもっている。今回のケースでは、そのほとんどが海岸林内で捕捉、堆積していた。こうした津波石や人工構築物の破壊片が住宅地にまで及ぶことのない対策が今後も必要となろう。 2012年6月作成

文献

- 穴倉正展 2012：海溝型巨大地震の履歴に関する研究の現状と課題．産業技術総合研究所地質調査総合センター第18回シンポジウム地質学で読み解く巨大地震と将来の予測 - どこまでわかったか - ．産業技術総合研究所研究資料 551：4 - 5 ．
- Goto,K.,Kawana,T.and Imamura,F., Historical and geological evidence of boulders deposited by tsunamis, southern Ryukyu Islands, Japan. Earth-Science Reviews102:77-99.2010
- Nandasena, N.A.K., Tanaka, N., Tanimoto, K., Tsunami current inundation of ground with coastal vegetation effects; an initial step towards a natural solution for tsunami amelioration, J. Earthquake and Tsunami, Vol. 2, No.2, pp. 157-171, 2008.
- Nandasena, N. A. K. , Raphaël Paris, Norio Tanaka, Reassessment of hydrodynamic equations: Minimum flow velocity to initiate boulder transport by high energy events (storms, tsunamis), Marine Geology 281, pp. 70-84, 2011.
- Nandasena, N. A. K. , Raphaël Paris, Norio Tanaka, Numerical assessment of boulder transport by the 2004 Indian Ocean tsunami in Lhok Nga, West Banda Aceh (Sumatra, Indonesia), Computers & Geosciences 37, pp. 1391-1399, 2011.
- Nandasena, N.A.K., Sasaki, Y.,Tanaka, N., Modeling field observations of the 2011 Great East Japan tsunami:Efficacy of artificial and natural structures on tsunami mitigation, Coastal Engineering, 67, pp.1-13, 2012.
- 佐々木 寧,田中規夫,インドネシアジャワ島の南西沖地震津波災害調査,埼玉大学紀要工学部第40号, pp.42-50, 2007.
- Tanaka, N., Nandasena, N.A.K., Jinadasa, K.B.S.N. Tanimoto, K., Sasaki, Y. and Mowjood, Developing Effective vegetation bioshield for tsunami protection, Civil Engineering and Environmental Systems 26 (2), pp. 163 - 180, 2009.