

東北地方太平洋沖地震津波による砂丘等の地形変化の特徴

浜口耕平・加藤史訓

1. はじめに

砂丘や海岸林等が津波の遡上を阻止あるいは減勢することで陸地の被害を軽減する効果があることは従来から指摘されている¹⁾。たとえば砂丘には、その高さによって津波の遡上を阻み、背後地の浸水深を低下させる、あるいは避難時間を確保する効果がある。しかし、砂丘が津波により侵食されると砂丘の高さが低下し、砂丘の減災効果が発揮できなくなる（写真-1）。

国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室では、砂丘のような地物を津波防災に役立つ「自然・地域インフラ」^{2),3)}として捉え、防災・減災に活用するため、その減災効果やその効果の発揮限界の評価方法等について平成26年度から研究してきた。その成果のうち、津波の減勢による減災効果が期待される砂丘や盛土等を対象に、保全・改良の検討方法と減災効果の評価方法について国総研資料⁴⁾にまとめた。

自然・地域インフラの減災効果を評価するためには砂丘等の地形変化を考慮した津波浸水計算を行う必要がある。地形変化の予測において適切な計算モデルを構築するために、地形変化の実例からその規模や形態を予め把握しておくことが必要



写真-1 砂丘が消失した事例（陸前高田市）

要となる。

東北地方太平洋沖地震の津波（今次津波）による砂丘等の地形変化については、現地調査による個別の報告^{5),6)}はあるものの、被災地を網羅するような調査はなされていなかった。

以上のことをふまえ、本報文では、震災前後の航空レーザ測量データを用いて、砂丘等の今次津波前後の地形変化を分析とその分析結果を用いて砂丘等の侵食過程の考察を行う。

なお、分析方法の詳細については諏訪ら⁷⁾を参照されたい。

表-1 対象地点の一覧（計74地点）

No	地域		地形形状	越流	No	地域		地形形状	越流	
1	青森県	三沢市	丘	有	38	仙台市若林区		平坦	有	
2			丘	有	39			平坦	有	
3			おいらせ町	丘	有			40	丘	有
4			八戸市市川町	平坦	有			41		丘
5	岩手県	普代町	平坦	有	42	宮城県	名取市	丘	有	
6			田野畑村	平坦	有			43	丘	有
7			山田町船越浦	平坦	有			44	丘	有
8			大船渡市	平坦	有			45	丘	有
9		平坦		有	46		丘	有		
10		平坦		有	47		平坦	有		
11		平坦		有	48		丘	有		
12		陸前高田市	丘	無	49		岩沼市	丘	無	
13			平坦	有	50			丘	無	
14			気仙沼市	丘	無			51	丘	有
15				丘	無			52	亶理町	丘
16		丘		無	53		山元町	平坦	有	
17	丘	有		54	平坦	有				
18	石巻市	平坦		有	55	丘	有			
19		丘		無	56	福島県	相馬市	丘	有	
20		平坦		有	57			丘	無	
21		丘		有	58			平坦	有	
22		平坦	有	59	丘			有		
23		宮城県	東松島市	丘	有	60	いわき市	平坦	有	
24				丘	無	61		丘	有	
25				丘	有	62		丘	無	
26	東松島市			丘	有	63		茨城県	ひたちなか市	平坦
27		丘	有	64	丘	無				
28		丘	無	65	丘	有				
29		平坦	有	66	丘	無				
30	宮城県	七ヶ浜町	平坦	有	67	千葉県	旭市	丘	有	
31			多賀城市	丘	無			68	丘	無
32		仙台市宮城野区	丘	無	69			丘	無	
33			丘	有	70			丘	無	
34			平坦	有	71			平坦	有	
35		仙台市若林区	平坦	有	72			丘	無	
36			丘	無	73			匝瑳市	丘	無
37			丘	有	74				山武市	平坦

表-2 使用した航空レーザ測量データの格子間隔と取得時期

	震災前		震災後	
	格子間隔	取得時期	格子間隔	取得時期
青森県	2 m	2006年	5 m	2012年
岩手県	2 m	2005～2006年	5 m	2011年
宮城県	2 m	2005年	2 m	2011年
福島県	2 m	2005年	2 m	2011年
茨城県	2 m	2005年	5 m	2011年
千葉県	2 m	2005年	5 m	2011年

2. 津波による地形変化の実態

2.1 対象とする地点

調査対象として今次津波の影響を受けたと考えられる青森県から千葉県の沿岸域の浸水区域内のコンクリート等の人工物で被覆されていない砂丘等から地域的に偏りのないように計74地点を抽出した(表-1)。なお、各地点の越流の有無は国土地理院の浸水範囲概況図⁸⁾と対象地点近傍にある東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの浸水高⁹⁾から判断した。また、砂丘等が凸地形で天端部分の幅が50m程度より広くないものを丘、それ以外を平坦と分類した。

2.2 航空レーザ測量データ

使用した航空レーザ測量データの格子間隔と取得時期は表-2のとおりである。震災前後の航空レーザ測量データは国土地理院が取得したものである。また、これらの航空レーザ測量データの標高は0.1m刻みである。

2.3 広域地殻変動の影響の除去

震災後の航空レーザ測量データは、東北地方太平洋沖地震による広域地殻変動を含んでいる。津波による地形変化のみを把握するため、震災後の航空レーザ測量データから東北地方太平洋沖地震の鉛直方向および水平方向の変位¹⁰⁾を差し引いた。

2.4 今次津波の外力

対象地点近傍の浸水高⁹⁾から津波の外力として越流水深または浸水深を整理した(図-1)。越流水深を「浸水高－震災前の砂丘等の天端高＋地震による地殻変動量(隆起を正)」、浸水深を「浸水高－震災前の砂丘等の地盤高＋地震による地殻変動量」により算定した。

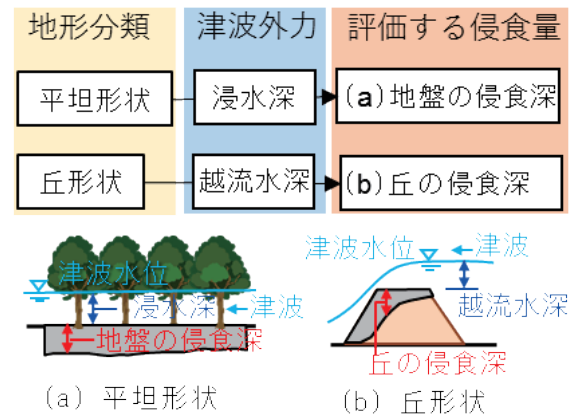


図-1 各地形分類の津波外力および侵食量

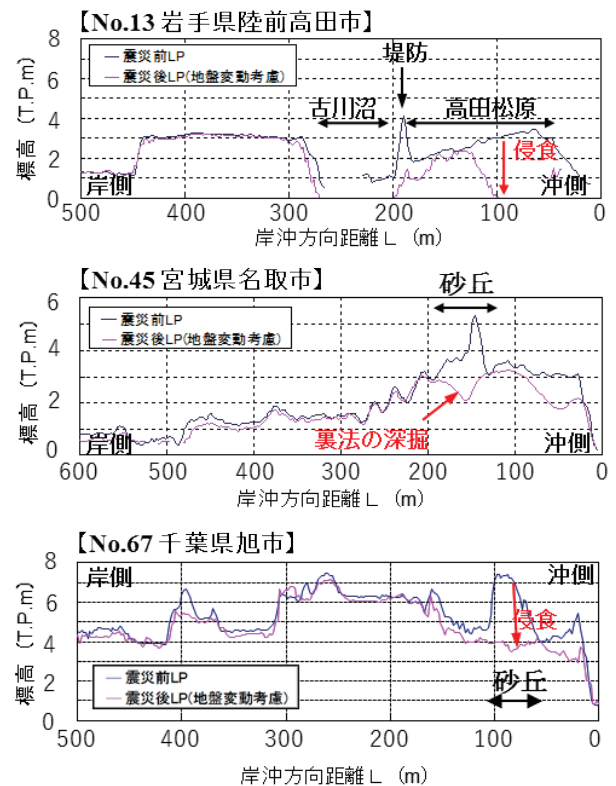


図-2 対象地点の震災前後の断面形状の例

2.5 地形変化

各地点の地形変化は航空レーザ測量による震災前後の断面形状(震災後は地震による広域地殻変動を差し引く)を比較することで把握できる。断面形状を示す測線は、海岸線と概ね直交する方向に設定した。表-1のNo.13、No.45およびNo.67を例として震災前後の断面形状を図-2に示す。

No.13は岩手県陸前高田市の高田松原である。震災後に海面上に残っている場所(L=100m)で

も最大で3m程度の侵食が生じている。また、侵食により陸地が消失した場所（ $L=5\sim100\text{m}$ ）では、津波により3m以上の侵食が生じたと考えられる。3m以上の侵食は高田松原の海側で生じ、陸側においても最大1m程度の侵食が生じた。一方、高田松原の中央部では侵食深は1m未満であることから、砂丘の侵食は海側、陸側の法面から中央部に向かって徐々に生じ、津波の外力に対して砂丘の幅が十分であれば砂丘の高さを維持できると示唆された。なお、古川沼の背後の地形変化は高田松原の砂丘部分と比べると軽微であった。

No.45は宮城県名取市の砂丘である。津波の越流水深は6m程度であり、T.P.+5m程度の砂丘はT.P.+3m程度まで侵食された。砂丘の裏法側の深掘（ $L=150\sim170\text{m}$ ）は、越流後すぐに砂丘が消失には至らず越流が一定時間継続したことにより生じた可能性を示唆している。

No.67は千葉県旭市の砂丘である。津波の越流水深は1mに満たなかったが、T.P.+7m程度の砂丘は最大3m程度侵食された。このように津波の越流水深が比較的大きくない地点でも砂丘が大きく侵食された事例が確認された。この地点の背後は海岸へのアクセス路となっているため引き波が局所的に集中し侵食が進行したと考えられる。

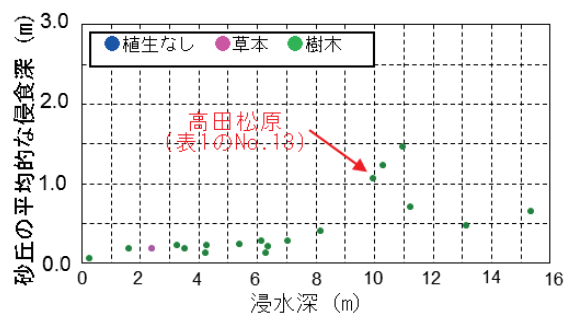
2.6 地形変化と津波外力の関係

各地点の津波の外力と侵食深の関係を調べた。越流が生じた地点を対象として平坦形状と丘形状に分けて、浸水深および越流水深と砂丘の平均的な侵食深の関係を把握した。なお、平均的な侵食深は、空中写真およびLPデータから判定した砂丘等の侵食深の平均値とした。また、津波の越流が生じていない場合も砂丘が侵食されることがあるが、本報文では越流した場合のみを対象とする。

これらの関係を図-3に示す。なお、表-1に示した各地点における震災前後の断面形状を比較し、土地の改変、がれき等の堆積、航空レーザ測量の精度などの影響により津波による有意な地形変化を把握できないと判断した場合は、図-3から除外した。

図-3(a)の平坦形状および図-3(b)の丘形状のいずれの場合も、浸水深や越流水深が大きくなるに

(a) 平坦形状



(b) 丘形状

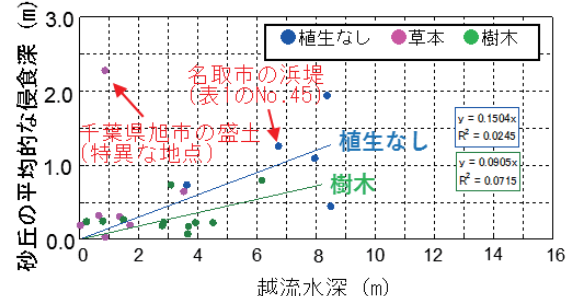


図-3 地形分類別の侵食深

つれ侵食深が大きくなる傾向がある。また、丘形状は平坦形状より侵食深が大きくなる傾向がある。さらに平坦形状では浸水深が8m、丘形状では越流水深が3mを超えなければ、特異なケースを除き平均的な侵食深は50cm以内であった。

図-3(a)では浸水深が10m程度を超えると急激に平均的な侵食深が大きくなる地点が確認された。それらの地点は、岩手県陸前高田市と大船渡市の背後に山が迫った地域に位置しており、背後の地形勾配等の影響で引き波の流速が大きくなり、平均的な侵食深が他地点と比べ大きくなったと考えられる。

2.7 植生の違いが侵食に及ぼす影響

植生を有する地盤は津波に対する耐侵食性を有すると考えられる。そこで、植生で覆われた地点が比較的多い丘形状について、砂丘等の表層を樹木、植生なしに分けて最小二乗法（線形で地形変化が生じると仮定）を用いて線形近似を行い、越流水深に対する侵食深の傾きの比較を行った。この結果、越流水深7m未満では、図-3(b)のように樹木に覆われている場合は植生なしの場合よりも直線の傾きが小さくなり、同じ越流水深に対して侵食深が小さくなる傾向が見られる。ただし、本

検討では地点数が少なく、植生の効果を検証するためにはより詳細な分析が必要となる。

なお、地盤表面の植生が樹木の場合と草本の場合で侵食の抑制効果は異なると考えられるが、草本の場合は越流水深が大きい事例がないため最小二乗法による比較を行っていない。なお、図-3(b)の草本の特異な点は、引き波が集中したことが原因で侵食が進行したと考えられる千葉県旭市の砂丘である（詳細は2.5に記載）。

3. まとめ

本報文では、青森県から千葉県の航空レーザ測量データを用いて震災前後の断面形状の違いを比較し今次津波による砂丘等の地形変化を分析した。

その結果、浸水深約10mの岩手県陸前高田市の高田松原では砂丘が3m以上侵食されたものの、中央部では砂丘が残存しており、津波の外力に対して砂丘の幅が十分であれば砂丘の高さを維持できると示唆された。また、越流水深約6mの宮城県名取市では砂丘の裏法側に深掘が生じており、越流後すぐに砂丘が消失には至らず越流が一定時間継続した可能性が示唆された。さらに、越流水深約1mの千葉県旭市においては、引き波が集中したと考えられる箇所では3m程度砂丘が侵食された事例が見られた。

また、津波外力と侵食深の関係から、浸水深・越流水深の増大に伴い、侵食深が大きくなる傾向にあることが示された。

さらに、砂丘が樹木に覆われている場合、植生なしの場合より同じ越流水深に対して侵食深が小さくなる傾向が見られた。

本検討の結果を踏まえ津波による地形変化の規模や形態を理解することで、適切な計算モデルにより津波に対する砂丘等の減災効果を評価することが可能となる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、国土地理院から浸水範囲概況図および航空レーザ測量を提供頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 首藤伸夫：防潮林の津波に対する効果と限界、第32回海岸工学講演会論文集、Vol.32、pp.465～469、1985
- 2) 渡邊国広、諏訪義雄：自然・地域インフラを活かして津波減災をはかる、土木技術資料、第57巻、第6号、pp.10～13、2015
- 3) 原野崇、浜口耕平、加藤史訓：津波防災地域づくりにおける自然・地域インフラの活用～津波を減勢する効果を有する砂丘等を中心に～、土木技術資料、第59巻、第9号、pp.14～19、2017
- 4) 加藤史訓、原野崇、浜口耕平：津波防災地域づくりにおける自然・地域インフラの活用に関する技術資料、国総研資料、第986号、2017。http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0986.htm
- 5) 加藤史訓、野口賢二、諏訪義雄、坂上敏彦、佐藤祥昭：津波による地形変化に関する現地調査、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol.68、No.2、pp.I_174～I_179、2012
- 6) 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）、Vol.68、No.2、pp.I_1396～I_1400、2012
- 7) 諏訪義雄、二階堂竜司、浜口耕平、原野崇、渡辺国広、中國大介、原文宏、青木伸一：航空レーザ測量を用いた東北地方太平洋沖地震津波による地形変化の実態、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol.72、No.2、pp.I_181～I_186、2016
- 8) 国土地理院ウェブサイト「2万5千分1 浸水範囲概況図」（http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html）、参照2011-3-24
- 9) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる速報値（http://www.coastal.jp/tjtj/）、参照2014-11-5
- 10) 国土地理院ウェブサイト「東北地方太平洋沖地震の地殻変動量」（http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html）、参照2014-11-18

浜口耕平



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
海岸研究室 研究官
Kohei HAMAGUCHI

加藤史訓



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
海岸研究室長、博（工）
Dr.Fuminori KATO