

岩手県沿岸地域を対象とした東日本大震災津波に関する地理・来襲津波・被害建物特性

柳川 竜一*・堺 茂樹**

Topographical, Propagating Tsunami and Suffering Building Features by the Great East Japan Earthquake Tsunami in the Iwate Coastal Region

Ryoichi YANAGAWA* and Shigeki SAKAI**

Abstract

In order to clarify the regional characteristics and tsunami damage by The Great East Japan Earthquake Tsunami in 2011, the various field data collected by various institutes were arranged in a cross-sectoral manner and examined the features. At the most of the coastal area, tsunami inundation area was almost the same as the low-lying area. While tsunami inundation area of Kuji and Miyako Bays was widely smaller than the low-lying area and not inundated into the inland, the low-lying area in Hirota Bay was almost entirely submerged. The elevation of dominant building location is different depending on the region. They were many buildings with elevation 1-2 m in Hirota Bay. Tsunami inundation depth there was above 10 m at the inland high density residential area. The destruction ratio in Hirota Bay was 96.1%, so most of the coastal settlement was devastated. From these topographical, propagating tsunami and suffering building features, it was revealed that buildings in Hirota Bay have some factors suffering great tsunami damage than others.

キーワード：東日本大震災，岩手県，津波，地理特性，来襲津波特性，被害建物特性

Key words：the Great East Japan Earthquake, Iwate Prefecture, Tsunami, Topographical Feature, Propagating Tsunami Feature, Suffering Building Feature

* 岩手大学地域防災研究センター
Research Center for Regional Disaster Management, Iwate University

** 岩手大学工学部社会環境工学科
Department of Civil and Environmental Engineering,
Iwate University

本論文に対する討論は平成27年2月末日まで受け付ける。

1. はじめに

日本の観測史上最大のマグニチュード9.0を記録した東日本大震災は、平成23年3月11日午後2時46分に三陸沖の深さ24kmの海底を震源地として発生した¹⁾。太平洋沿岸地域の被害は甚大で、平成24年度版防災白書によると、東北地方の青森県、岩手県、宮城県、福島県の海岸構造物およびその周辺は壊滅的な被害を受け、被害額は約17兆円にのぼると推計している²⁾。岩手県総務部総合防災室および宮城県危機対策課の情報をまとめると、両県の死者・行方不明者数は1万8千人弱、10万棟以上の住家が全壊被害を受けている(表1)^{3,4)}。

地震の規模あるいは地震そのものによる被害もさることながら、地震後の調査から、人的・物的

表1 東日本大震災に伴う市町村別死者・行方不明者数および住家被害数

県/市町村	死者(人)	行方不明者(人)	住家被害(棟)	
岩手県	洋野町	0	0	26
	久慈市	3	2	278
	野田村	39	0	479
	普代村	0	1	0
	田野畑村	17	15	270
	岩泉町	10	0	200
	宮古市	467	94	4,098
	山田町	676	149	3,167
	大槌町	853	433	3,717
	釜石市	986	152	3,655
宮城県	大船渡市	414	79	3,934
	陸前高田市	1,598	215	3,341
	気仙沼市	1,193	235	8,481
	南三陸町	618	219	3,143
	石巻市	3,518	442	19,973
	女川町	607	262	2,924
	東松島市	1,127	26	5,510
	松島町	7	0	221
	利府町	1	0	56
	塩竈市	44	0	655
	七ヶ浜町	0	0	0
	多賀城市	218	0	1,746
	仙台市	908	30	30,034
	名取市	952	41	2,801
	岩沼市	186	1	736
亘理町	281	6	2,389	
山元町	698	18	2,217	

な被害の多くは、海底地震により発生した津波によるものであることが分かっている。土木学会東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ⁵⁾が取り纏めた津波痕跡の資料を整理すると、津波高さは野田村～陸前高田市にわたる岩手県沿岸の広い地域で高い傾向が認められ、浸水高の最高値は宮古市姉吉でT.P. +29.5m、遡上高の最高値は大船渡市三陸町でT.P. +39.7mであると報告している(図1)。

震源となる海底プレートが複数有り、それぞれの始動に時間差があったことが波高の大きくなった原因の一つであるが、津波が到達した海岸地形の影響も大きいと考えられる。宮城県、福島県は、比較的海岸線が平坦で奥に平野が広がる構造である一方、岩手県の海岸線は、直線的な海岸線が多い県北地域と複雑な微地形を有する県南地域を有しており、地盤高は低平地が広がる地域と狭い低平地と急峻な崖から形成される段丘地域が有り複雑さを増している。今後の津波に備えるべく対策を講ずるとすれば、今般の津波被害を科学的視点から明らかにし、被災状況に応じた配慮が不

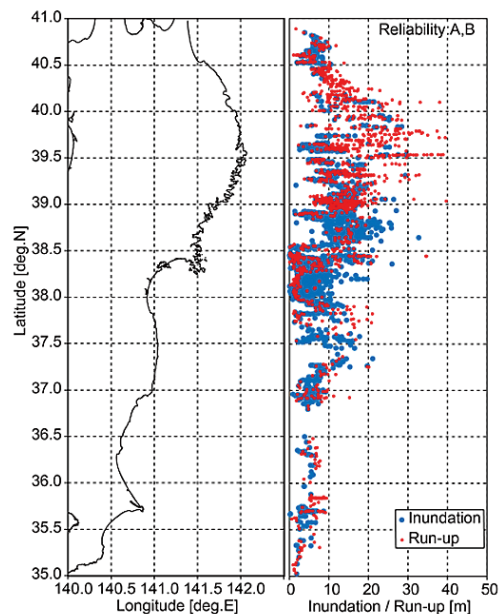


図1 東日本大震災津波の津波痕跡高(東北地方全域)

可欠となると考えられる。

学術団体、国土交通省、各関係自治体等の機関は震災後の地盤高変化や津波浸水区域の把握、津波痕跡の測定、津波浸水区域内建物の被災調査、津波の再現シミュレーション等を実施して現地資料は揃ってきており、様々な機関から得られた資料を整理・比較することは津波被害の地域特性を浮き彫りにするためにも有効と考えられる。

そこで、本研究では、各機関が調査・収集した資料を横断的に整理し、岩手県内津波浸水地域の地理特性、来襲津波特性、被害建物特性についてGISを活用して空間的に把握するとともに、岩手県沿岸地域の被災状況や地域格差を多角的な方面から分析した。

2. 収集・利用データ

2.1 海岸線

海岸線の情報は、株式会社ゼンリン Zmap-AREA II (2010-2版) で提供されている海岸線を利用した。最大解像度は10,000分の1で、海岸線より内陸側の地域を陸地と設定した。海岸線における防潮堤や水門、陸閘、河川堤防に代表される海岸保全施設の配置状況については、航空写真及び岩手県海岸保全施設等天端一覧⁶⁾から得られた海岸保全施設の整備状況をGIS上で判定し整備長を算出するとともに、海岸線長さに対する海岸保全施設の整備長さの比を整備率とした。

2.2 標高

国土地理院は、東日本大震災後での海岸地域の航空写真撮影および航空レーザースキャナ測量を行っており、基盤地図情報数値標高モデルとして標高値を公開している^{7,8)}。標高値は、航空レーザースキャナ測量で地表に到達した計測点の標高値から家屋・高架・橋梁等の人工構造物および樹木などの植生をフィルタリング処理により除去し、0.2秒(約5m) 正方メッシュの中心点の標高値を内挿処理により作成しており、その精度は水平方向に1m、高さは都市域等・河川流域等で0.3m、都市域周辺等で0.7mとなっている。本検討では、各地点の標高値を東日本大震災による

地盤沈下後での0.2秒四方の平均地盤高と設定した。図2は、海岸線から標高100m迄の地域について塗り分けた標高図である。

2.3 海底地形

海底水深値は、日本水路協会が発行している海底地形デジタルデータ M7005 Ver.2.2 三陸沖⁹⁾を用いた。本検討で利用した水深値は地盤沈下を反映させた値では無いが、震災後の広範囲にわたる地域の水深値は公開されておらず、海拔からの水深値に対して地盤沈下の量は十分に小さく、海底地形を把握するにあたり影響はないとみなした。

2.4 津波痕跡 (浸水高・遡上高)

津波浸水地域内の津波痕跡は土木学会東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループが収集・整備しており、最新版である2012年12月29日リリースのデータを解析に用いた⁵⁾。用いたデータ項目は、各調査地点の緯度、経度、浸水高・遡上高の判定およびそれらの高さである。本検討では、全調査データの中から信頼性が高いと判断される信頼度AおよびBのみを採用した。なお、浸水高は建物や柱状構造物の津波痕跡高を標高0m (T.P.+0m) からの高さで表したものの、遡上高は陸上を

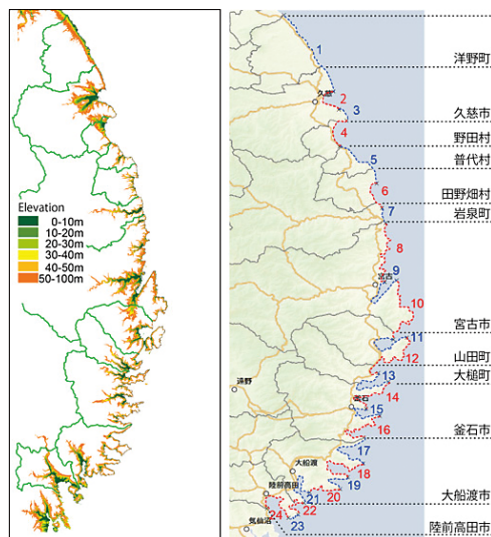


図2 標高図および24地域海岸の分類図

這い上がった最高地点の高さを標高0mからの高さで表したものと定義している。

2.5 津波遡上域

岩手県県土整備部は、津波が陸上で到達した地域の遡上境界線を整備している。遡上境界線の作成にあたり、境界は震災後の航空写真から認識できる海水による植物の変色や発泡スチロール・ブイ等漂流ごみの痕跡から判定している。判定不明な箇所の処理については、現地ヒアリング調査の証言を反映させたり、痕跡が確認できた近隣の標高と等しい地図等高線の標高で補間している。本検討では、この遡上境界線を津波が到達した最大範囲と設定した。

2.6 被害建物

建物被害状況は、国土交通省が2011年6月までに実施したH23東北地方太平洋沖地震の津波被災における被災現況調査で纏められている。この調査は、東北・関東の太平洋岸6県の被災62自治体を対象とした被災現況調査であり、津波浸水地域にある建物の被災状況を1戸ずつ詳細に記録したものである。データの内容は、建物構造（RC造・S造・W造・その他不明造）、建物階数、建物用途、被災区分（全壊（流出）、全壊（撤去）、全壊（条件付き再生可）、大規模半壊、半壊（床上浸水）、一部損壊（床下浸水）、被害無、不明）、所在地、浸水階数などである。本検討では、各建物の緯度・経度、建物構造、被災区分、建物用途を解析に用いた。

2.7 地域海岸の分類

岩手県津波防災委員会は、東日本大震災の発災後、3つの指標（①同一の湾で区分、②湾口防波堤が計画されている湾は湾口防波堤の内外で区分、③海岸線の向きが異なる区間で区分）を用いて、同一の津波外力を設定しようと判断される区間を地域海岸と設定した¹⁰。本検討では、津波浸水地域の地域比較を行う為、上記3つの指標から表2および図2に示す24地域海岸を設定した。

表2 岩手県24地域海岸分類

番号	24地域海岸	市町村
1	洋野-久慈北海岸	洋野町・久慈市
2	久慈湾	久慈市
3	南久慈海岸	久慈市
4	野田湾	野田村
5	普代海岸	普代村・田野畑村
6	田野畑海岸	田野畑村・岩泉町
7	岩泉海岸	岩泉町・宮古市
8	田老海岸	宮古市
9	宮古湾	宮古市
10	重茂海岸	宮古市
11	山田湾	山田町
12	船越湾	山田町・大槌町
13	大槌湾	大槌町
14	両石湾	釜石市
15	釜石湾	釜石市
16	唐丹湾	釜石市
17	吉浜湾	大船渡市
18	越喜来湾	大船渡市
19	綾里湾	大船渡市
20	大船渡湾外洋	大船渡市
21	大船渡湾	大船渡市
22	大野湾	陸前高田市
23	広田湾外洋	陸前高田市
24	広田湾	陸前高田市

3. 解析手法

解析には地理情報を伴うため、ArcGIS 10.2を用いた空間分析を行った。各地域海岸における海岸線長や低平地面積および浸水面積等の基本情報は、GISのフィールド演算およびジオメトリ演算機能を用いて算出した。それ以外の個別データ算出については以下に示す。

3.1 津波浸水面積

津波の浸水面積は、海岸線（標高0m）と津波遡上境界線で囲まれた地域を地域海岸単位で分割し、領域内の0.2秒正方メッシュデータから作成した10m正方メッシュ数をカウントして面積を換算した。なお、海岸線より海側岩礁や陸域河川、その他水域（田・ため池）は面積算出から除外した。

3.2 閉鎖度指数

24地域海岸のうち、湾と呼称している15地域を

対象に式1で示す閉鎖度指数を算出した。閉鎖度指数 I_c は、湾の海水交換能力を数値化した指標であり、対象となる海域の開口幅 W 、海域の内部面積 S 、海域内部最深部水深 D_1 、海域開口部最深部水深 D_2 の4パラメータから算出される。各値は、環境省ホームページ公表値¹¹⁾、海底地形デジタルデータ M7005 に収録してある値、ArcGIS の測定ツールで取得した値を利用した。釜石湾および大船渡湾は湾口防波堤が設置していたため、海岸線および湾口防波堤で囲まれている領域について算出した。この数値が高いと海水交換が悪く富栄養化の恐れがあることを示している一方、外界から入射する波エネルギーの低減に寄与できると考えられる。

$$I_c = \frac{\sqrt{S} \times D_1}{W \times D_2} \quad (1)$$

3.3 浸水深

浸水深は、津波痕跡調査が実施された観測地点での浸水高から基盤地図情報数値標高モデルの標高値を差し引いて算出した。なお、国土地理院の標高データが存在しない地点、痕跡の位置情報が明らかにずれている地点は解析から除外した。また、水門、防潮堤、橋梁、ガレキ等の僅かな位置の違いで標高が大きく変わる地形を有する観測点では、その微地形を0.2秒メッシュ標高値がカバーすることが出来ないため、今回の解析対象から外した。

3.4 建物の破壊区分および破壊率

建物の破壊区分は8区分に分類されるが、本検討では、評価を簡易的に把握できるよう全壊（流出）、全壊（撤去）、全壊（条件付き再生可）を「全壊」、大規模半壊および半壊（床上浸水）を「半壊」、一部損壊（床下浸水）および被害無を「被害無」、「被害不明」の4区分に再編成した。解析に供するため、被害不明の建物は除外した。なお、現地住民によるヒアリングから、今回被災した建物は地震で損壊したのではなく津波浸水により流出等の被害を受けたとの報告を受けており、

本検討では全ての対象建物が津波被害であったと仮定して解析を実施した。建物破壊の程度については、羽島の破壊率の式(式2)¹²⁾を用いて算出した。破壊率の式は、建物被害の大きさに応じて重み付けのパラメータを採用しており、地域に位置する建物群の被害程度を0-100%で表現している。ここで、 a は全壊建物数、 b は半壊建物数、 c は被害無建物数である。

$$D = \frac{a+b/2}{a+b+c} \times 100(\%) \quad (2)$$

4. 解析結果および考察

4.1 地理特性

4.1.1 海岸線および地域海岸概況

図2に示すとおり、久慈湾・野田湾・岩泉海岸・大槌湾・釜石湾では湾奥域のみ平地を有する一方、宮古湾・山田湾・大船渡湾・広田湾では湾全域にわたり平地を有している。それ以外の地域では、海岸線からの背後地域が狭く急峻な断崖地形となっており、海岸利用されない箇所では海岸保全施設が未整備な区間も多い。表3にて、各地域海岸の地理特性を整理した。各地域における海岸施設の設置割合は、久慈湾・宮古湾・大船渡湾で60%を、山田湾・広田湾では50%をそれぞれ上回ったが、重茂海岸では6.9%と低く重茂・音部集落のみ津波防潮堤が整備されている程度であった。

4.1.2 低平地地形

岩手県沿岸地域では、標高の低い平地に建物が密集して配置されており、その多くが標高10m未満であった。そこで、標高10m以下の地域を低平地と定義した。図3は各地域における海岸線長と低平地面積の関係、図4は各地域における低平地面積と平均地形勾配の関係をプロットしたものである。人口の多い湾地域（宮古湾・久慈湾・広田湾）では、岩手県内の沿岸地域の中でも海岸線長さに対して低平地面積が広い（内陸方向への低平地が広い）のに対し、重茂海岸や船越湾・洋野-久慈北海岸では内陸方向への低平地が狭い。また、低平地面積が広い湾地形（宮古湾・久慈湾・

表3 24地域海岸の地理特性

番号	24地域海岸	海岸線 [Km]	海岸施設整備率 [%]	低平地面積 [Km ²]	低平地勾配 [°]	開口幅 [Km]	海域面積 [Km ²]	最深水深 [m]	閉鎖度指数
1	洋野-久慈北海岸	51.18	32.9	2.87	7.36	-	-	-	-
2	久慈湾	21.36	67.9	10.18	2.21	4.26 : G	11.78 : G	21.6 : M	0.81
3	南久慈海岸	9.82	14.9	0.23	16.72	-	-	-	-
4	野田湾	16.56	42.8	3.05	4.38	8.87 : G	20.42 : G	28.6 : M	0.51
5	普代海岸	28.99	14.1	1.36	10.50	-	-	-	-
6	田野畑海岸	15.96	35.7	0.92	9.53	-	-	-	-
7	岩泉海岸	21.85	25.3	3.99	4.72	-	-	-	-
8	田老海岸	39.26	21.4	2.20	7.84	-	-	-	-
9	宮古湾	39.99	67.9	12.69	3.12	4.8 : E	24.1 : E	76 : E	1.02
10	重茂海岸	56.10	6.9	1.25	15.92	-	-	-	-
11	山田湾	33.05	58.7	5.24	4.48	3.94 : E	31.96 : E	90 : E	1.43
12	船越湾	47.80	22.9	1.76	9.60	3.1 : E	9.4 : E	55 : E	0.99
13	大槌湾	41.91	42.0	6.91	4.15	4.1 : E	20.2 : E	77 : E	1.10
14	両石湾	35.69	11.9	0.78	13.43	2.82 : G	6.25 : G	64.0 : M	0.89
15	釜石湾	36.47	49.6	3.84	3.94	0.30 : G	8.7 : E	49 : E	9.83
16	唐丹湾	44.05	18.7	1.30	11.06	3.5 : G	11.1 : G	86.7 : M	0.95
17	吉浜湾	38.82	16.7	0.85	13.10	7.39 : G	26.01 : G	102.8 : M	0.69
18	越喜来湾	42.53	23.7	1.06	11.70	2.16 : G	18.81 : G	91.1 : M	2.01
19	綾里湾	21.90	13.4	0.30	18.00	4.29 : G	9.16 : G	77.9 : M	0.71
20	大船渡湾外洋	31.65	16.4	0.95	10.29	-	-	-	-
21	大船渡湾	39.85	64.0	6.51	3.82	0.2 : E	7.89 : E	38 : E	14.04
22	大野湾	23.86	39.1	1.54	7.05	3.38 : G	8.26 : G	44.8 : M	0.85
23	広田湾外洋	9.32	21.4	0.26	11.82	-	-	-	-
24	広田湾	36.36	58.6	9.71	3.53	4.75 : E	37.13 : E	56 : E	1.28
	岩手県全体	784.35	32.6	79.75	5.02				

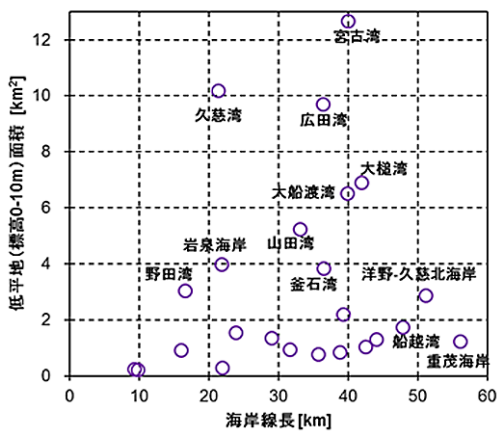


図3 海岸線長と低平地面積との関係

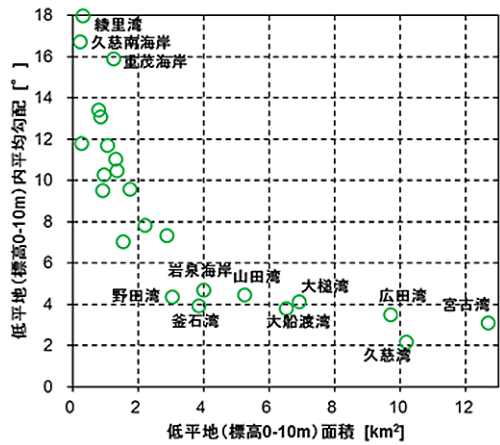


図4 低平地面積と平均地形勾配との関係

広田湾) では平均勾配が4%以下と緩やかなのに対し、綾里湾や湾地域以外(久慈南海岸・重茂海岸)では、平均地形勾配が15%以上と大きく、背後に段丘や急傾斜地を多く有していることが浮き彫りとなった。

4.1.3 海域地形

各地域海岸の開口幅、海域面積、最深水深および算出された閉鎖度指数を表3に纏めた。表中のGはArcGISの計測ツールから取得、Eは環境省HPから引用、Mは海底地形デジタルデータM7005から引用した水深値を示している。今回の調査では海域内部最深部水深と海域開口部最深部水深は等しかったため、最深水深として記載した。洋野-久慈北海岸、南久慈海岸、普代海岸～田老海岸、重茂海岸、大船渡湾外洋、広田湾外洋の計9地域は湾状地形とみなせず、閉鎖度指数が

算定不可能であった。なお、日本における代表的な閉鎖性海域の閉鎖度指数は、東京湾で1.78、伊勢湾で1.52、瀬戸内海で1.13、有明海・島原湾で12.89である。湾口防波堤が設置されていた釜石湾と大船渡湾では開口幅がそれぞれ0.3km、0.2kmと狭いこともあり、閉鎖度指数は9.83および14.04と他地域よりも高い。湾口幅に対して湾奥面積が大きい自然地形を有する越喜来湾、山田湾、広田湾、大槌湾では、隣接する地域よりも閉鎖性が高くなっており、これら地域では湾内へ入射される津波エネルギーの低減する可能性が推察された。

4.2 来襲津波特性

4.2.1 津波浸水面積

津波は地形勾配が緩やかな低平地を中心に遡上しており、低平地面積が広い地域海岸では総じて

表4 24地域海岸の来襲津波特性

番号	24地域海岸	浸水面積 [Km ²]	津波痕跡		浸水深	
			浸水高(地点数) [TP+m]	遡上高(地点数) [TP+m]	最大値 [m]	平均値 [m]
1	洋野-久慈北海岸	2.32	5.37-8.19(4)	6.19-22.93(107)	5.2	3.5
2	久慈湾	3.83	6.06-14.04(18)	3.48-32.52(37)	6.6	3.6
3	南久慈海岸	0.34	6.98-11.86(3)	4.56-17.09(12)	6.3	3.6
4	野田湾	2.67	7.35-23.08(22)	4.92-38.08(58)	15.7	8.8
5	普代海岸	1.24	8.81-23.66(11)	5.88-27.44(56)	13.4	4.5
6	田野畑海岸	1.49	11.41-28.33(11)	11.59-28.44(40)	16.2	5.3
7	岩泉海岸	2.23	4.58-28.46(14)	2.88-37.42(44)	17.4	6.7
8	田老海岸	3.04	7.07-28.94(38)	7.41-39.45(106)	17.4	4.7
9	宮古湾	6.90	0.07-12.37(74)	2.35-23.61(100)	9.8	2.7
10	重茂海岸	2.05	10.05-29.52(24)	13.02-38.92(87)	11.1	3.9
11	山田湾	4.37	4.81-15.02(44)	4.17-14.71(45)	12.0	4.8
12	船越湾	2.67	9.82-22.12(12)	10.69-29.32(30)	12.8	5.5
13	大槌湾	6.68	6.90-14.74(23)	6.83-19.38(62)	13.0	8.9
14	両石湾	1.12	4.64-29.34(13)	9.60-32.87(47)	16.6	8.8
15	釜石湾	3.09	4.73-15.93(44)	3.81-30.30(34)	9.9	5.5
16	唐丹湾	1.70	1.66-20.87(23)	8.81-21.79(23)	10.2	3.0
17	吉浜湾	1.18	11.03-21.43(25)	13.37-22.61(22)	16.2	4.7
18	越喜来湾	1.57	10.13-17.45(30)	11.21-18.50(22)	11.6	4.6
19	綾里湾	0.44	15.96-26.39(8)	9.32-39.71(25)	23.7	10.3
20	大船渡湾外洋	1.06	8.20-16.98(15)	6.79-20.62(24)	15.0	5.9
21	大船渡湾	5.58	4.50-10.55(35)	5.32-15.41(53)	8.8	5.5
22	大野湾	2.00	9.95-14.61(12)	10.46-19.85(45)	5.3	3.0
23	広田湾外洋	0.35	11.46-14.17(5)	11.88-15.79(8)	5.0	3.6
24	広田湾	11.24	8.12-18.34(60)	6.57-21.88(66)	14.3	7.2
	岩手県全体	69.17	0.07-29.52(568)	2.35-39.71(1153)		

浸水面積も広い。表4にて、各地域海岸の来襲津波特性を整理した。各地域の浸水面積は、広田湾で10km²を上回っており、宮古湾・大槌湾・大船渡湾でも5km²を上回った。一方、久慈湾は低平地面積が宮古湾に次いで広いにもかかわらず浸水面積は3.83km²に留まった。低平地面積と津波浸水面積との関係を調査したところ、津波浸水面積

は今回設定した低平地面積とほぼ同等若しくはやや下回る地域が多かった(図5)。久慈湾や岩泉海岸、宮古湾では低平地面積が浸水面積を大きく上回ったのに対し、広田湾・田老海岸・船越湾では浸水面積が低平地面積を上回った(図6)。久慈湾や岩泉海岸、宮古湾では低平地でも海岸線から遠い程津波浸水を免れているのに対し、広田湾・田老海岸・船越湾では低平地ほぼ全てが水没してしまったことになる。

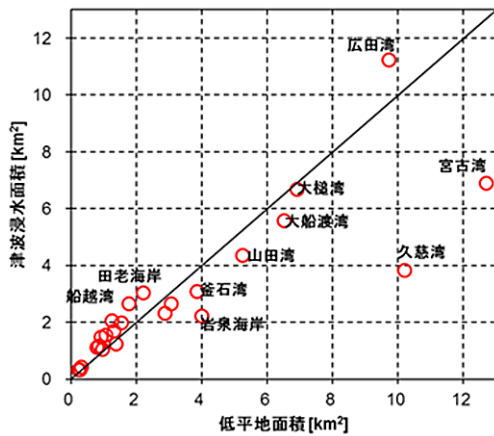


図5 低平地面積と津波浸水面積との関係

4.2.2 津波痕跡高(浸水高・遡上高)

図7にて、岩手県沿岸地域を対象とした津波の浸水高および遡上高の空間分布を示す。遡上高は、高い順に綾里湾の南側湾口でT.P. +39.71m、宮古市田老南部でT.P. +39.45m、宮古市姉吉でT.P. +38.92mが観測された。遡上高がT.P. +30mを越えた観測地域は、岩泉海岸～田老海岸～重茂海岸にまたがる太平洋に面した地域において他地域よりも高頻度であった。とりわけ重茂半島の南東先端部にあたる姉吉地区の津波痕跡高は著しく、6地点で観測された浸水高の平均値はT.P. +

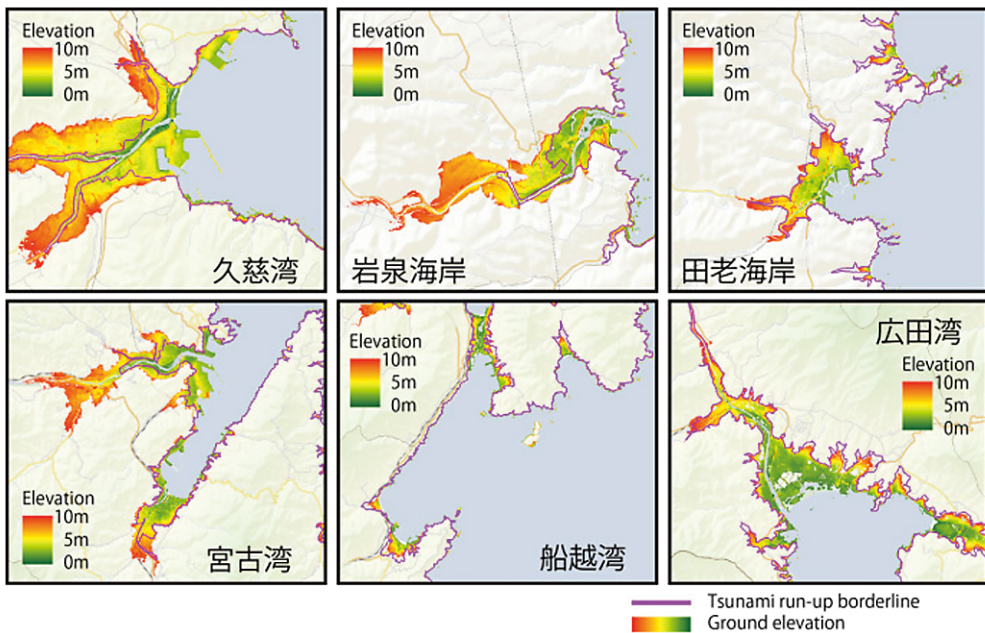


図6 人口密集地域における津波遡上高と低平地地形

26.1m, 16地点で観測された遡上高の平均値はT.P. +32.1mであった。湾地形での湾口と湾奥それぞれの遡上高を比較したところ、遡上高は、湾口よりも湾奥地域で低下する傾向があり、犬飼ら¹³⁾も、多くの湾では湾奥で遡上高が減衰していると現地調査の結果から述べている。隣接する地域間で津波痕跡高の比較を行ったところ、閉鎖度指数が高いほど津波痕跡高が低くなる傾向がみられた。これに関して、鈴木ら¹⁴⁾の調査では、湾口防波堤が設置している釜石湾と隣接する両石湾では浸水高に4mもの差が現れていること、湾口防波堤が設置してある釜石湾や大船渡湾では湾内の流速が比較的小さくて水位上昇の速度も低減されていたとの目撃証言を得ている。これら傾向を踏まえると、海岸地形が津波高さを決定付ける要因の一つである事は明らかで、湾口防波堤は内湾への津波エネルギーを減衰させる事に寄与しており、閉鎖度指数のような簡易的な指標でも津波波高の地域傾向を把握することが可能である事が示唆された。

4.2.3 浸水深の分布

各地域海岸における浸水深の最大値は、いずれも水際線付近若しくは水際線と隣接し地形勾配の極めて緩やかな漁港・港湾地域に位置していた。地点平均浸水深は、綾里湾で10mを越え最も深く、続いて大槌湾・野田湾・両石湾で8m台、広田湾で7m台、岩泉海岸で6m台だった。野田湾や岩泉海岸では、水際線に近い場所にて浸水深が最大となったが、住宅が密集する内陸地域ではいずれも2mを下回った。綾里湾・大槌湾・両石湾・広田湾では、同様に水際線付近での浸水深が最も深く、内陸の住宅密集地域でも浸水深は大して低下しなかった。特に、広田湾では、高田松原背後地にて最大浸水深14.3mと見積もられたのに対し、海岸線から1.5km程離れた地域での浸水深は10.7mであった。野田湾の平均浸水深は、県北地域の中で突出している。これに関して、野田湾での値は観測21地点中13地点が十府ヶ浦海岸での倒木を免れた松の枝に付着していたゴミの痕跡痕で、浸水高はT.P. +14.20m~21.43m, 平均浸水深は12.3mであった。犬飼ら¹³⁾の報告では、目撃証言をもとに、野田村北部の岬から反射した波と南方からの進行波により十府ヶ浦海岸付近での津波波高増大を示唆している。今回の調査結果では、十府ヶ浦海岸付近に多くの観測地点が偏っていることと、二方向からの波の干渉により平均浸水深が隣接地域よりも高いと考えられた。

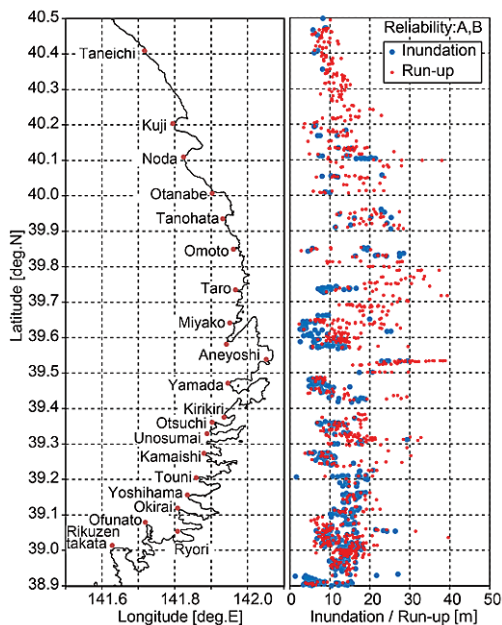


図7 東日本大震災津波の津波痕跡高 (岩手県)

4.3 被害建物特性

4.3.1 浸水区域内の建物標高

表5にて、各地域海岸の被害建物特性を整理した。津波浸水区域内に存在した倉庫や漁具置場、トイレなど簡易施設を含めた建物は45,136棟あり、被害が明らかで標高が推定できた建物は44,300棟であった。これら個々の建物の標高に焦点を当てると、浸水区域内建物の立地している状況として大きく3つのグループに分かれていることが明らかとなった。①0-5m幅内で突出して優占する標高帯がある地域：久慈湾・岩泉海岸・宮古湾・山田湾・釜石湾・広田湾、②優占する標高帯があるが分布幅が5-10mと広い地域：野田

表5 24地域海岸の被害建物特性

番号	24地域海岸	浸水地域内 建物数	建物が多い標高帯 [m] (全体数の割合)			平均浸水深 [m]			全壊率 [%]	半壊率 [%]	被害無率 [%]	破壊率 [%]
			1	2	3	被害無 地域	半壊 地域	全壊 地域				
1	洋野-久慈北海岸	256	3-4 (16.4)	2-3 (14.8)	6-7 (14.1)	-	-	3.5	64.8	27.0	8.2	78.3
2	久慈湾	1,207	4-5 (44.6)	3-4 (22.4)	5-6 (22.4)	-	2.2	5.0	29.7	53.1	17.1	56.3
3	南久慈海岸	35	5-6 (25.7)	3-4 (17.1)	4-5 (11.4)	-	-	3.6	74.3	25.7	0.0	87.1
4	野田湾	1,180	5-6 (23.7)	6-7 (21.1)	4-5 (19.0)	-	1.6	9.5	63.4	30.2	6.4	78.5
5	普代海岸	170	3-4 (14.1)	5-6 (12.4)	4-5 (11.8)	-	2.2	9.2	90.0	9.4	0.6	94.7
6	田野畑海岸	542	4-5 (13.3)	10-11 (10.1)	11-12 (9.2)	-	-	11.4	88.6	9.4	2.0	93.3
7	岩泉海岸	538	3-4 (47.4)	2-3 (25.5)	4-5 (10.8)	-	0.4	8.5	75.1	22.1	2.8	86.2
8	田老海岸	1,235	3-4 (25.9)	4-5 (18.2)	5-6 (12.3)	0.5	1.7	4.7	90.4	7.6	2.0	94.2
9	宮古湾	5,427	2-3 (34.7)	3-4 (22.6)	1-2 (20.3)	0.8	1.2	4.3	52.6	37.1	10.3	71.2
10	重茂海岸	207	5-6 (17.9)	6-7 (10.6)	4-5 (9.7)	-	0.2	4.7	91.8	7.2	1.0	95.4
11	山田湾	3,919	1-2 (37.9)	2-3 (21.0)	3-4 (12.6)	-	1.3	5.3	85.4	12.4	2.3	91.6
12	船越湾	1,516	2-3 (8.4)	3-4 (8.4)	7-8 (7.7)	-	1.7	6.4	91.3	6.5	2.2	94.6
13	大槌湾	6,561	1-2 (24.4)	2-3 (16.3)	0-1 (15.4)	-	1.2	9.5	85.6	13.4	1.0	92.3
14	両石湾	486	2-3 (12.6)	1-2 (10.9)	4-5 (8.2)	-	-	8.5	95.9	3.9	0.2	97.8
15	釜石湾	2,665	1-2 (34.6)	2-3 (14.6)	3-4 (12.3)	-	1.4	6.2	81.3	16.0	2.7	89.3
16	唐丹湾	687	7-8 (9.0)	1-2 (7.6)	2-3 (7.6)	-	1.6	3.8	87.6	10.2	2.2	92.7
17	吉浜湾	55	12-13 (10.9)	2-3 (9.1)	3-4 (9.1)	-	-	6.3	94.5	3.6	1.8	96.4
18	越喜来湾	903	11-12 (10.2)	3-4 (8.7)	12-13 (8.7)	-	-	4.4	87.9	11.0	1.1	93.4
19	綾里湾	22	5-6 (27.3)	4-5 (18.2)	9-10 (9.1)	-	-	13.0	100.0	0.0	0.0	100.0
20	大船渡湾外洋	514	2-3 (16.1)	1-2 (14.4)	3-4 (13.8)	-	-	7.9	79.4	17.7	2.9	88.2
21	大船渡湾	6,385	1-2 (20.2)	2-3 (16.0)	4-5 (15.3)	-	7.5	5.5	69.5	26	4.5	82.5
22	大野湾	1,516	2-3 (11.3)	6-7 (10.2)	5-6 (9.2)	-	-	3.6	87.3	11.4	1.3	93.0
23	広田湾外洋	28	2-3 (17.1)	5-6 (11.4)	6-7 (11.4)	-	-	4.5	94.3	5.7	0.0	97.1
24	広田湾	8,246	1-2 (30.0)	2-3 (13.9)	0-1 (9.7)	0.6	1.5	8.0	93.0	6.1	0.9	96.1
	岩手県全体	44,300							81.4	15.5	3.1	89.2

湾・田老海岸・重茂海岸・大槌湾・綾里湾・大船渡湾、③優占する標高帯がない若しくは優占する標高帯が複数ある地域：洋野-久慈北海岸・南久慈海岸・普代海岸・田野畑海岸・船越湾・両石湾・唐丹湾・吉浜湾・越喜来湾・大船渡湾外洋・大野湾・広田湾外洋。突出して優占する標高帯がある地域でも、0-2m帯では殆ど存在せず4-5m帯に建物数が多い久慈湾や、山田湾・釜石湾・広田湾のように1-2m付近で建物が突出している地域とで地理的特徴を反映した傾向がみられた。図8は、建物数が1,000棟を越える11地域(以下、代表的な地域海岸と称する)での各標高帯での建物数とその破壊区分の割合を整理している。標高別で建物の被害程度を整理すると、標高が低い程全壊割合が高いことが明らかとなった。建物数と被害区分の関係性を精査すると、久慈湾・野田湾・宮古湾では建物の多い標高帯では半壊率および被害無率が高い傾向があるのに対し、田老海岸・山田湾・船越湾・大槌湾・釜石湾・大野湾・広田湾で

は建物の多い標高帯ではほぼ全て全壊していた。

4.3.2 被害建物の配置と浸水深の関係

代表的な地域海岸における破壊区分別建物の位置と浸水深の分布を図9に示す。いずれの地域でも水際線に近い建物ほど全壊しており、水際線から離れるほど半壊若しくは被害無建物の割合が増大する傾向がみられた。久慈湾、野田湾、宮古湾、山田湾、大槌湾、釜石湾では全壊建物、半壊建物、被害無建物分布の境目が明瞭だが、田老海岸、船越湾、広田湾ではほぼ全てが全壊建物となっていた。そして、大船渡湾と大野湾では全壊建物、半壊建物、被害無建物が混在していた。これら状況に関して、首藤ら¹⁵⁾は浸水深が1mを上回ると部分的破壊となり、2mを上回ると木造建物が全面破壊に至ると過去の津波被害調査から指摘している。図9で示す代表的な地域海岸については、半壊建物の密集している地域の浸水深の平均値は、久慈湾や普代海岸で2.2m、大船渡湾で

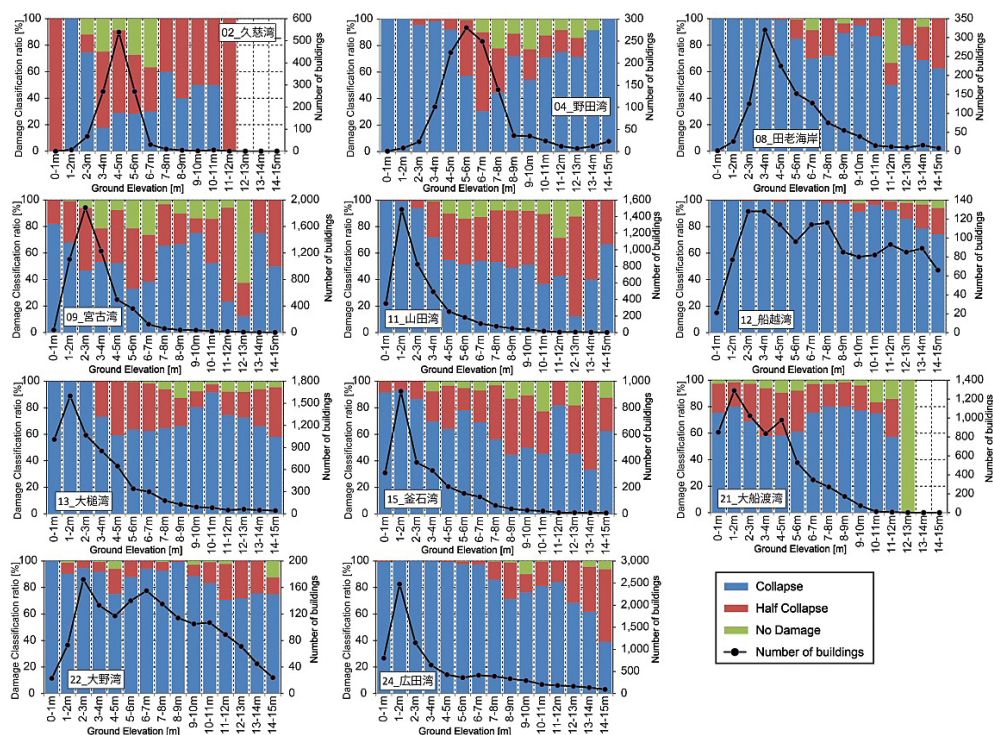


図8 代表的な地域海岸における標高帯別建物数と破壊区分の割合

7.5mだったもののそれ以外の地域ではいずれも2mを下回った。柳澤ら¹⁶⁾は木造家屋でも浸水深が2.4m以下で大破を免れていると仙台平野での検討から指摘しており、今回の傾向にも合致する。そして、被害無建物が密集している地域の浸水深は1mを下回ったことから、津波による建物被害は、各地域の浸水深と地盤高の関係から大凡推定可能であるといえる。なお、大船渡湾での半壊建物群での平均浸水深が7.5mだった事に関して、該当する地域は港湾地域に隣接して立地している主にS造からなる文教厚生施設、工業施設、運輸倉庫施設で、岩手県沿岸で殆どを占める木造建物と比較しても十分に強度が強かった為に全壊を免れたと考えられる。大船渡湾と大野湾での建物被害混在型の分布については、浸水深の値以外にも、工場、加工場、商業施設等の高耐力のRC造やS造建物が周囲に高密度に存在していたため背後地域の建物が致命的な被害を免れた可能性が推察された。

4.3.3 建物破壊率（破壊区分と羽鳥の破壊率）

建物全壊率は、久慈湾で29.7%と3割程度に留まったもののそれ以外の地域ではいずれも5割を越えた。半壊率は、県北地域や宮古湾、大船渡湾でやや高い傾向があり、25%を上回った。被害無率は、久慈湾で17.1%、宮古湾で10.3%だったが、他地域では総じて低く、南久慈海岸・綾里湾・大船渡湾外洋の浸水区域内では被害無建物が存在しなかった。被害の程度を定量的に把握した羽鳥の破壊率は、多くの地域で90%を上回っており、一部地域を除いて、岩手県内の津波浸水区域に含まれる集落は壊滅的な被害を被ったといえる。破壊率が最も低かった地域が久慈湾の56.3%、次いで宮古湾の71.2%であった。破壊率が高い代表的な地域は、広田湾の96.1%、船越湾で94.6%、田老海岸で94.2%、大野湾で93.0%、大槌湾で92.3%、山田湾で91.6%が挙げられる。被害の隣接する地域間の違いについては、閉鎖性の高い地形を有する地域ほど相対的に破壊率が低い傾向が

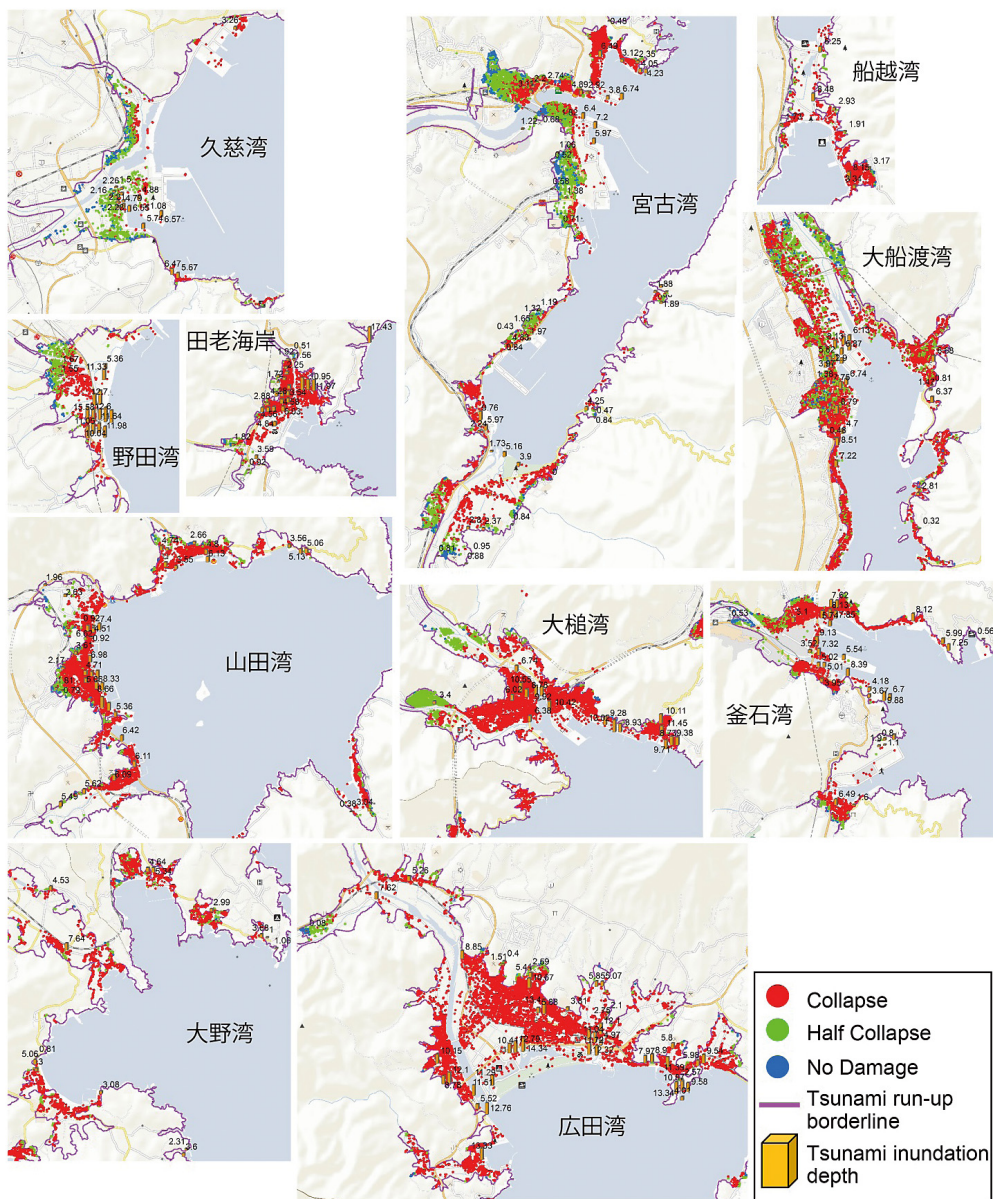


図9 代表的な地域海岸における破壊区分別建物被害と浸水深の分布

みられた(図10)なお、閉鎖度指数は海域および沿岸地形のみから推定される指標のため、陸域の情報は含まれていない。隣接する地域間は、外洋での津波高さ、陸上地形や建物配置の特徴が比較的似ていることもあり大凡の傾向を捉えることが可能だが、大きく変化する離れた地域間での建物

を対象とした破壊率の比較は困難である。そして、破壊率との定量的な評価を行うにあたり、建物に直接被害を与える要因である津波浸水深や津波力の考慮が必要であり、閉鎖度指数は簡易的な指標として捉える必要がある。

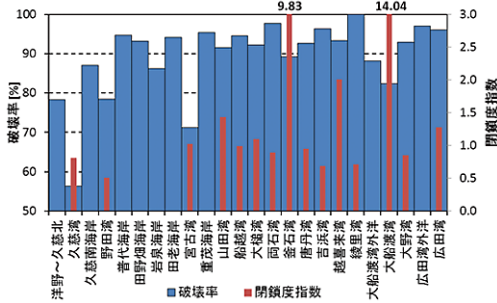


図10 各地域海岸における建物破壊率と閉鎖度指数との関係

4.4 建物被害の地域特性

岩手県を代表する沿岸地域の中でも県北の久慈湾，県央の宮古湾，県南の広田湾を対象に，建物被害の地域特性を考察した。地理特性を纏めた表 3，来襲津波特性を纏めた表 4，被害建物特性を纏めた表 5 から，これら地域はいずれも勾配の緩やかな広い低平地を有しているにも関わらず，破壊率は久慈湾で56.3%，宮古湾で71.2%，広田湾で96.1%と大きく異なっている。久慈湾および宮古湾の浸水面積は低平地面積を大きく下回ったが，広田湾では低平地面積を上回っており陸上に遡上した海水量も大きかったと推定される。現地で観測された浸水高の最低値は広田湾>久慈湾>宮古湾であり，広田湾では地域全体に來襲した津波波高が他地域より高かった可能性がある。広田湾内で浸水した建物数は，全体の30%が標高1-2 m帯，全体の53.6%が標高3 m以下と，標高の低い場所に多くが立地しており，ほぼ全ての建物が全壊している。久慈湾および宮古湾では，それぞれ標高4-5 m帯，標高2-3 m帯に最も多くの建物が立地しており，全壊・半壊被害を免れた建物も多い。従って，広田湾では他地域海岸よりも標高の低い場所に多くの建物があったといえる。そして，浸水高と標高値から推定された浸水深は，久慈湾や宮古湾において陸域奥側へ向かう程低下しており，半壊地域では概ね2 m以下，被害無建物は1 m以下で，浸水による被害を免れている低平地も存在した。広田湾では，海岸線から1.5 km離れた住宅密集地域で最大10.67 mの浸水

深であったことから，多くの建物が配置されている低平地の殆どが浸水しており且つ浸水深も深かった。これら理由から，広田湾では久慈湾や宮古湾よりも津波による建物被害が深刻であったことが示唆された。

5. まとめ

東日本大震災に伴う津波および沿岸被災地域状況について，岩手県津波浸水地域の地理特性，来襲津波特性，被害建物特性についてGISを活用して空間的に把握するとともに，地域海岸での被災特性や被害格差について考察した。本研究の成果を以下に取り纏める。

- (1)久慈湾や岩泉海岸，宮古湾での津波浸水面積は低平地（標高10m以下）面積を大きく下回っており，海岸線から遠い地域ほど津波浸水を免れた。一方，広田湾・田老海岸・船越湾では，津波浸水面積は低平地面積を上回っており，低平地ほぼ全てが水没してしまったことになる。
- (2)浸水高および遡上高は，岩泉海岸～田老海岸～重茂海岸にまたがる太平洋に面した地域において他地域よりも高く，湾地形では湾口よりも湾奥地域で低下する傾向がみられた。そして，閉鎖性が高い湾地形の津波痕跡高は，閉鎖性が低い地域よりも低かったことから，より閉鎖的な海岸地形は津波エネルギーをより減衰させる事に寄与していることが示唆された。
- (3)建物が多く立地する標高帯は，地域毎に異なっていた。全体的な傾向として，標高の低い場所に立地している建物ほど全壊割合が高かった。代表的な地域海岸のうち，久慈湾・野田湾・宮古湾では，建物の多い標高帯にて半壊率および被害無率が低い傾向があるのに対し，田老海岸・山田湾・船越湾・大槌湾・釜石湾・大野湾・広田湾では，建物の多い標高帯ではほぼ全て全壊していた。
- (4)浸水区域内の建物は，水際線に近いほど全壊しており，水際線から離れるほど半壊もしく

は被害無建物の割合が増大する傾向がみられた。また、建物の全壊-半壊-被害無の境目が明瞭な地域とほぼ全てが全壊している地域、様々な破壊区分が混在している地域に分ける事ができ、津波による建物被害は各地域の浸水深や建物構造、建物密集程度から大凡推定可能であると考えられた。

- (5) 建物の全壊率は、久慈湾で3割程度に留まったもののそれ以外の地域ではいずれも5割を越えた。被害無率は、久慈湾で17.1%、宮古湾で10.3%だったが、他地域では総じて低く、南久慈海岸・綾里湾・大船渡湾外洋の浸水区域内では被害無建物が存在しなかった。羽島の破壊率は、多くの地域で90%を上回っており、一部地域を除いて、岩手県内の津波浸水区域に含まれる集落は壊滅的な被害を被ったといえる。被害の隣接する地域間の違いについては、閉鎖性の高い地形を有する地域ほど相対的に破壊率が低い傾向がみられた。
- (6) 久慈湾・宮古湾・広田湾での建物被害の地域特性を比較した。これら地域間で低平地面積や地形勾配に大きな違いはないものの、久慈湾や宮古湾での津波浸水面積は低平地面積を大きく下回ったのに対し、広田湾での津波浸水面積は低平地面積を上回った。広田湾では、最低浸水高が久慈湾・宮古湾よりも相対的に高く且つ低平地でも低い場所(標高1-2m)に多くの建物がある地理的背景から、多くの建物が配置されている低平地全体が浸水しており且つ浸水深も深かった。従って、広田湾では、久慈湾や宮古湾よりも津波による建物被害が深刻であったことが示唆された。

謝 辞

本論文の作成にあたり、様々な機関から公開された資料を利用させて頂いた。岩手県県土整備部からは、津波浸水範囲の資料を提供して頂いた。ここに記して多大なる感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 気象庁：気象庁技術報告第133号，平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査報告第I編，354p.，2012.
- 2) 内閣府：防災白書 平成24年度版，230p.，2012.
- 3) 岩手県総務部総合防災室，東北地方太平洋沖地震に係る人的被害・建物被害状況一覧，平成25年10月31日現在，<http://www.pref.iwate.jp/~bousai.taioujoukyou/>，2014年1月7日
- 4) 宮城県危機対策課，東日本大震災における被害状況一覧表，平成25年12月10日現在，<http://www.pref.miyagi.jp/site/ej-earthquake/km-higaizyoukyou.html>，2014年1月7日
- 5) Mori, N., T. Takahashi, and The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group: Nationwide Post Event Survey and Analysis of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami, Coastal Engineering Journal, JSCE 54(1), Special Issue of 2011 Tohoku Tsunami., 2012.
- 6) 岩手県農林水産部・県土整備部：岩手県海岸保全施設等天端一覧表，2011.
- 7) 国土交通省国土地理院，被災地周辺の空中写真，http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse2/index3_tohoku.html，2014年1月7日
- 8) 国土交通省国土地理院，基盤地図情報サイト，<http://www.gsi.go.jp/kiban/>，2014年1月7日
- 9) 日本水路協会海洋情報研究センター情報事業部：海底地形デジタルデータ M7000シリーズ，M7005 Ver2.2 三陸沖
- 10) 岩手県，津波防災技術専門委員会，http://www.pref.iwate.jp/~hp0212/fukkou_net/tsunamibousai.html，2014年1月7日
- 11) 環境省，閉鎖性海域ネット，http://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/index.html，2014年1月7日
- 12) Tokutaro Hatori: A Study of the Damage to Houses due to a Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol.42, pp.181-191, 1964.
- 13) 犬飼直之・細山田得三・陸 旻皎・熊倉俊郎・南 将人・入江博樹：岩手県北部周辺における東北地方太平洋沖地震による津波被害の調査報告，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol. 68, No. 2, I_19-I_24, 2012.
- 14) 鈴木崇之・佐々木淳・田島芳満・早野公敏：2011年東北地方太平洋沖地震津波の岩手県南部における被災調査，土木学会論文集B3(海洋開発)，

Vol. 68, No. 2, I_25-I_30, 2012.

- 15) 首藤伸夫：津波強度と被害，東北大学津波工学研究報告第9号，pp.101-136, 1992.
- 16) 柳澤英明・柳澤緋奈子：東日本大震災における仙台平野の津波浸水特性と家屋被害，第32回日本自然災害学会学術講演会，pp.7-8, 2013.

(投稿受理：平成26年1月22日
訂正稿受理：平成26年4月24日)