岩手県普代村における太田名部漁港施設の津波減衰効果に関する数値解析

Numerical Simulation on Tsunami Mitigation due to Ohtanabe Fishing Ports in Fudai of Iwate Prefecture

小笠原敏記¹・岩間俊二²・堺 茂樹³

Toshinori OGASAWARA, Shyunji IWAMA and Shigeki SAKAI

In the Great East Japan Earthquake, we clarified that Ohtanabe fishing ports have fully function as tsunami mitigation using tsunami simulation. The process in which tsunami develops or propagates is very different depending on the presence or absence of the fishing ports. Especially, if there were not the fishing ports, the tsunami height increases more than 60% at the front of Ohtanabe seawall and the inundation height increases twice at the area inside the seawall. Furthermore, there will be also strongly possibility that the large amount of water is stored within the seawall for a long stretch of time. Therefore, we learned from the disaster that a multilayered defense system should be built to minimize damage in the event of a disaster that overwhelms disaster prevention infrastructures.

1. 序論

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波は、岩手県沿岸の防潮堤を越流または破壊し、背後の生活圏に重大な被害を及ぼした。その一方で、地域によっては同じ湾内であっても被害の程度が異なることが報告されている。例えば、山崎・高橋（2013）は、松島湾内の島嶼部が津波高の減勢効果および浸水深を小さくする機能を果たしたことを示唆している。

岩手県下閉伊郡普代村においても、普代川水門を津波が乗り越えた痕跡が記録されているが、同湾の南に位置する同高さの太田名部防潮堤を乗り越えなかった。そのため、写真-1に示すように防潮堤より海側では、魚市場や作業小屋などに大きな被害を受けたが、陸側の住宅街は無傷であった。さらに、犬飼ら（2012）は、太田名部防潮堤付近の痕跡の調査結果より、周囲に襲来した津波に比べて低かったことを報告している。このような理由から、防潮堤に津波が到達するまでに何らかの津波減衰効果が働いたものと考えられる。

そこで本研究では、一般防潮堤で整備された太田名部漁港施設に着目し、その施設の有無による地形データを基にした津波再現計算を行い、津波の空間的・時間的変化を比較することによって、漁港施設による津波減衰効果を明らかにする。

2. 普代村の津波防災施設および津波痕跡

普代村における津波対策の防災施設は、普代川河口か

写真-1 津波来襲後の太田名部防潮堤より海側(上段)と陸側(下段)の状況

ら300m上流に位置する普代川水門（両側の防潮堤を含めて延長205m、高さT.P.+15.5m）、およびその水門より南に位置する太田名部防潮堤（延長155m、高さT.P.+15.5m）がある。普代村の防災施設の特徴および被害の概要は、小笠原・堺（2012）の報告を参照されたい。

普代村に襲来した津波の痕跡高を図-1に示す。なお、岩手県から提供された痕跡値を用いた。普代川水門周辺の痕跡は、水門より上流の普代中学校近くの道路で遡上限界地点となり、痕跡高は6.3mになる。この地点を除くと15m以上になる。特に、水門の操作室窓の痕跡高は、

1 正会員 博(工) 岩手大学准教授大学院工学研究科社会環境工学専攻
2 正会員 岩手大学大学院機械・社会環境システム工学専攻
3 正会員 工博 岩手大学長

図-1 太田名部防潮堤および普代川水門周辺の痕跡高

図-2 岩手県普代村を含む5段階の計算領域

図-3 10m格子間隔の計算領域と標高

24mに達したことがわかる。一方で、太田名部防潮堤周辺の痕跡高は、最大でも11.8mであり、防潮堤前面では8.9mに留まる。両防災施設は、南北方向に1km程度しか離れていないにも関わらず、痕跡高さに大きな差が生じることから、防潮堤に津波が到達するまでに何らかの津波減衰効果が作用したものと推測される。以下では、津波を減衰させた要因を検討するために用いた津波の再現計算について述べる。

3. 津波再現計算

(1) 計算方法

津波再現計算には、非線形長波式を基に、Staggered leap-flog法による差分化を用いた計算を行う。計算領域は、図-2に示すように東北地方太平洋沖を含むように波源から普代村にかけて5段階に領域を設定する。なお、各領域の格子間隔は、1080m, 360m, 120m, 40m, 10mとし、沖合の海域から陸域に近づくにつれて、計算領域を小さくすると共に、空間解像度を上げている。格子間隔10mの格子数は、291,200となる。底面摩擦および遡上境界条件には、小谷ら(1998)の相当粗度モデルを、防波堤等の越流境界条件には、本間(1940)の越流公式をそれぞれ適用する。再現時間は、地震発生から3時間とし、計算時間間隔を0.1秒とする。地殻変動のモデルには、内閣府モデルを基にMansinha and Smylie (1971)の方法を適用している。

(2) 計算条件

計算条件は、漁港施設および防潮堤のそれぞれの津波に対する効果を検討するため、現況として被災直前の地形(Case1)、太田名部漁港施設がない地形(Case2)、および太田名部防潮堤がない地形(Case3)の3通りとする。図-3は、10m格子間隔の計算に用いる計算領域と地形の標高を表したものである。なお、漁港施設(防波堤等)の高さは、T.P.+1.6m~7.0mである。Case2では、図-3中を示す赤色の破線で囲まれた漁港施設を消去し、周辺の標高で補間した地形を計算に用いる。また、Case3も同様に防潮堤を無くして補間した地形を適用する。

(3) 痕跡値と計算値の比較検証

図-4は、再現計算(現況; Case1)および現地観測における浸水高の比較を示す。なお、図-1で示した痕跡高の6.3mおよび16.7mの痕跡場所における再現計算は、特異

図-4 観測値と計算値の浸水高の比較

図-5 Case1(現況), Case2(漁港施設なし)およびCase3(防潮堤なし)の各津波高および浸水深の空間分布

な地形のため、解析不能であった。また、観測値の24mは、普代川水門の操作室窓に飛沫として記録されたものである。再現計算では、飛沫のような計算を再現することができないため、観測値との差が生じたと考えられる。この地点を除けば、本再現計算は観測値と概ね一致していることから、今回の津波の再現性を保障しているものと言える。

4. 計算結果および考察

(1) 津波再現計算の空間分布の比較

図-5は、Case1(現況), Case2(漁港施設なし), およ

びCase3(防潮堤なし)における各地形の地震発生から第1波遡上までの各時刻での津波高および浸水深の空間分布を示す。地震発生から39分20秒後では、各地形に依らず漁港施設沖側に5m程度の同様な高さの津波が来襲する。しかし、30秒後の39分50秒になるとCase1およびCase3の場合、津波は防潮堤による反射波の影響を受けて、Case2に比べて著しく波高が増大しており、その高さは10mに達する。その一方でCase2の場合、高さ5m程度の第1波がすでに海岸に到達している。さらに、40分20秒後のCase1およびCase3では、津波が防潮堤前の陸上に遡上しているが、Case2ではすでに防潮堤前面に到達

図-6 Case1(現況), Case2(漁港施設なし)およびCase3(防潮堤なし)の各最大浸水深の空間分布

図-7 Case1(現況)およびCase2(漁港施設なし)での津波高の時間変化の比較(上段:P1, 下段:P2)

図-8 Case2(漁港施設なし)およびCase3(防潮堤なし)での浸水深の時間変化の比較(上段:P3, 下段:P4)

している。また、陸域における浸水深の空間分布にも違いが生じ、Case2では他の2ケースに比べて約3mの様な浸水深の分布になることがわかる。

図-6は、各ケースの最大浸水深の空間分布を示す。普代川水門側では、各ケースで同様な浸水深分布を示し、水門より海側で15m以上の最大浸水深となる。また、何れのケースでも津波が水門を乗り越えていることから、その陸側が浸水しており、3m未満の浸水域が広く分布している。漁港側では、防潮堤のないCase3の場合、当然ながら防潮堤よりも陸側まで浸水しているが、防潮堤があ

るCase1とCase2の場合、浸水分布に大きな差が生じるようになる。すなわち、Case1では津波が防潮堤を越流しないため、その陸側は浸水していないが、Case2では防潮堤を越流することから、最大で4m以上の浸水深となる。さらに、Case2の防潮堤よりも海側の浸水分布が他の2ケースに比べて著しく高くなっていることがわかる。

以上より、漁港施設の有無により海岸までの津波の発達過程および伝播過程に大きな違いが生じるため、その影響を受けて津波が防潮堤を越流するか否かの異なる現象になることが確認できる。

(2) 津波再現計算の時間分布の比較

ここではまず、図-3に示す漁港沖側 (P1)、漁港施設内 (P2)、防潮堤海側 (P3)、および防潮堤陸側 (P4) の4地点について、各ケースにおける津波高および浸水深の時間分布の比較検討を行う。

図-7は、Case1(現況)およびCase2(漁港施設なし)における漁港沖側 (P1) および漁港施設内 (P2) での津波高の時間変化を示す。なお、地震発生から30分後の30分間の波形を抽出している。地点P1では、両ケース共に地震発生から39分後に最大波となる押し波の第1波が来襲している。Case1では、地点P1で13.5mの津波高となるが、地点P2では、その高さは10mまで減衰するようになる。一方のCase2では、地点P1でCase1よりも約2m低い津波高であるが、地点P2になると15mにまで増大するようになる。さらに、第2波においても地点P2でCase1よりも3.8m高くなる。また地点P2では、第1波の後にCase1では見られない大きな引き波が生じていることがわかる。

図-8は、Case2(漁港施設なし)およびCase3(防潮堤なし)における防潮堤海側 (P3) および陸側 (P4) での浸水深の時間変化を示す。地点P3では、Case2の浸水深は防潮堤の高さ (T.P.+15.5m) を超える17.8mとなり、Case3と比較しても8.2m高くなる。さらに、地点P4では、Case3の浸水深は9.7mをピークに時間の経過に伴い低下するようになる。一方、Case2の浸水深は約11mになり、陸側門を開放しない限り、その高さが長時間継続されることが予想される。

図-9 Case2(漁港施設なし)およびCase3(防潮堤なし)での流速の時間変化の比較(上段: P3, 下段: P4)

図-10 Case1(現況)の計算結果の最大値を基準としたCase2(漁港施設なし)およびCase3(防潮堤なし)の各最大津波高および最大浸水深の増減率

次に、Case2およびCase3における地点P3およびP4の流速について検討する。図-9は、その結果であり、地震発生から30分後の30分間における流速の時間変化を比較したものである。Case3では、第1波の最大流速が2.7m/sとなるが、Case2では7.0m/sとなり、漁港施設のあるCase3に比べて2倍強程度まで発達している。また、Case3では第1波後の流速はゼロへと収束するが、Case2では、第2波による最大流速が3.5m/sとなる。

更に、地点P4では、Case2およびCase3のそれぞれの最大流速は4.2m/sおよび2.4m/sであり、Case2の値はCase3の1.8倍となり、防潮堤越流後の流速も比較的大きいことがわかる。加えて、Case2の場合、最大流速に達した後、急激に減少していることから、上述した浸水深を考慮すれば、短時間で大量の水塊が防潮堤を乗り越える可能性が非常に高かったことが言える。

これより、漁港施設が整備されていたことは、防潮堤に到達する津波の高さを抑制し、防潮堤を越流することなく、その陸側の家屋等に被害を及ばなかったことに結び付けられると考察される。

(3) 定点における津波の増減率

図-10は、Case1(現況)の計算結果の最大値を基準としたCase2およびCase3の各地点における最大津波高およ

び最大浸水深の増減率を示す。漁港沖側(P1)および漁港施設内(P2)において、Case3の津波はCase1と同様な伝播過程をするため、増減率は生じない。一方のCase2では、最大津波高がCase1に対して漁港沖側で2割弱の減衰後、漁港施設内で6割弱の増大となる。さらに、防潮堤海側(P3)において、Case3では最大浸水深が若干減衰するのに対して、Case2では8割も増大する。また、防潮堤陸側(P4)では、Case1の計算では浸水していないため、地盤高を基に増加率を表しているが、Case2の浸水深はCase3に比べて2倍の増加となることがわかる。

5. 結論

東北地方太平洋沖地震に伴う津波において、漁港施設が津波の減衰効果に大きな機能を果たしたことを再現計算で明白にすることができた。以下に結論をまとめる。

漁港施設の有無により海岸までの津波の発達過程および伝播過程に明確な違いが生じることを明らかにした。特に、漁港施設のない場合、防潮堤より海側では、6割弱の波高の増加となるだけでなく、防潮堤より陸側では、浸水深が2倍高くなり、大量の水塊が長時間に渡り留まる可能性があることがわかった。また、防波堤による反射波による他地域への影響であるが、連続して襲来する後続の津波の影響が強いため、普代村の北側に位置する野田村など他地域への反射波の影響は、小さいものと推察される。

したがって、津波防災施設に限らず、その周辺の施設を含めた多重防御の検討は、防災計画の一案として有効と考えられる。

謝辞：本研究は、科研費(基盤(B))24360199および科研費(基盤(C))26350473の助成を受けた成果である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 犬飼直之・細山田得三・陸 旻岐・熊倉俊郎・南 将人・入江博樹(2012): 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, pp. I_19-I_24.
- 小笠原敏記・堺 茂樹(2012): 岩手県沿岸における津波被害の特徴, 混相流, 26巻, pp. 28-35.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998): GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 356-360.
- 本間 仁(1940): 低溢流堰堤の流量係数, 土木学会誌, 26(6), pp. 635-645, 26(6), pp. 849-862.
- 山崎宗広・高橋 暁(2013): 松島湾の島嶼部による津波減勢と防潮堤の効果に関する水理模型実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, I_376-I_380.
- SMYLIE, D. E. and L. MANSINHA(1971): The elasticity theory of dislocations in real earth models and changes in the rotation of the earth, Geophys. J. R. Astron. Soc., 23, 329-354.