

島嶼を有する湾における津波高の概算法 —松島湾を例に一

秋田大学 学生員 ○八谷耕介 正員 松富英夫

1. はじめに 宮城県の松島湾内における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の高さ（浸水高，遡上高）は島嶼の沖側や周辺海岸のものに比べて目立って低かった。津波被害も島嶼の沖側や周辺海岸の被害に比べて小さかった。この理由として湾口島嶼の存在が考えられる¹⁾。

本研究は湾口に島嶼を有する湾内における津波高の概算法を提示し，その有用性と上記理由の妥当性を確認するものである。本概算法の有用性が確認され，沿岸域の地殻変動量などから簡易に沿岸域の津波高の予測が可能になれば²⁾，湾口に島嶼を有する湾内における津波高が数値シミュレーションを実施することなく概算できることになる。

2. 簡易理論 松島湾の平面形状（出典：Google Earth）と湾口部の遠景，松島湾内と湾外周辺海域における水深分布を図-1 と 2 に示す。また，松島湾内，島嶼部，湾外のモデル化，各モデル領域における入射波（ f, I, K ）と反射波（ g, J ）の表示記号を図-3 に示す。本モデル化は主に島嶼部のモデル化とその一体化の2段階からなっている。これは断面急変による波の変形に関する Lamb の近似理論³⁾の拡張版である。

Lamb と同様に線形長波理論で論じる。入射波と反射波の位相差，エネルギー損失は考えない。湾外と湾内の波高比（低減率）は波周期にも依存するが⁴⁾，津波を対象とし（周期帯を限定），潮汐のような長周期の波は対象としない。このとき，島嶼域における入射波成分 I と湾内域における入射波成分 K ，湾外域における入射波成分 f と島嶼域における入射波成分 I ，湾外域における入射波成分 f と反射波成分 g の和と湾内域における入射波成分と反射波成分の和 $2K$ の比（低減率） A として近似的に次式群を得る。

$$I = \frac{b_2 c_2 + b_3 c_3}{2b_2 c_2} K \quad (1)$$

$$f = \frac{b_1 c_1 + b_2 c_2}{2b_1 c_1} I \quad (2)$$

$$= \frac{(b_1 c_1 + b_2 c_2)(b_2 c_2 + b_3 c_3)}{4b_1 b_2 c_1 c_2} K$$

$$A = \frac{2K}{f+g} \cong \frac{K}{f} = \frac{4b_1 b_2 c_1 c_2}{(b_1 c_1 + b_2 c_2)(b_2 c_2 + b_3 c_3)} \quad (3)$$

ここで， b_1 は島嶼沖側の影響海域幅， $b_2 = \sum_{i=1}^{n+1} b_{2i}$ は島嶼部海域の湾軸方向投影幅， b_3 は湾内海域平均幅， n は島数， $c_1 = \sqrt{gh_1}$ ， $c_2 = \sqrt{gh_2}$ ， $c_3 = \sqrt{gh_3}$ はそれぞれ島嶼沖側



図-1 松島町双観山（矢印始点）から松島湾口を望む（上段：Google earth）

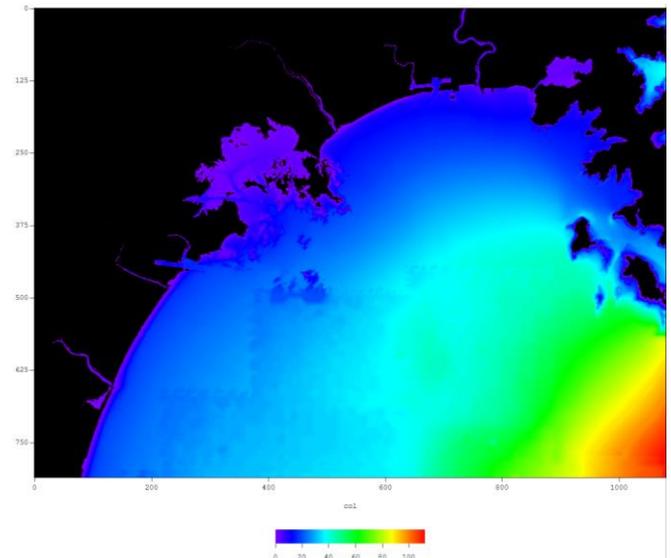


図-2 松島湾内と湾外周辺海域の水深分布

海域，島嶼部海域，湾内海域における波速， g は重力加速度である。島嶼の沖側や湾奥の津波高は入射波と反射波が行交って形成される部分重複波的なものと考えられる。本研究は線形長波理論で論じており，第 1 波目が最大波で，島嶼部海域幅が島嶼沖側の影響海域幅や湾内海域平均幅に比べて狭い場合，島嶼沖側と湾奥の津波高の比は式(3)に示すように両海域における入射波成分の比（低減率）で近似されると考えられる。これは $J \cong 0$ を仮定しているとも言える。

3. 概算事例 宮城県の松島湾を対象として式(3)の概算事例を示すとともに，その有用性を実測値との比較を通して検討する。2011 年東北地方太平洋沖地震津

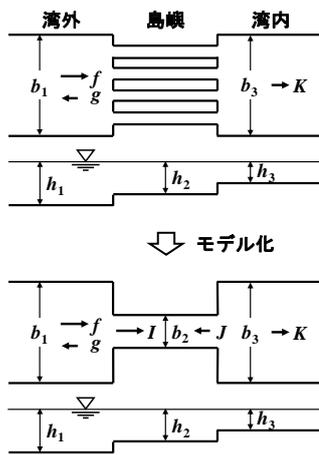


図-3 湾口に島嶼を有する湾内外のモデル化

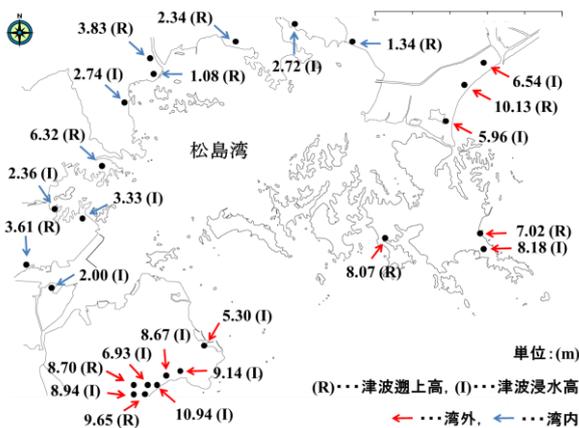


図-4 現地調査に基づく2011年東北地方太平洋沖地震津波の松島湾奥と島嶼の沖側、周辺海岸における津波高

表-1 概算値(式(3))と現地実測値(平均)の比較例(松島湾)

	$b_1(km)$	$b_2(km)$	$b_3(km)$	$h_1(m)$	$h_2(m)$	$h_3(m)$	低減率
概算法	14	1.3	10.6	15	3	4	0.369
					4		0.417
				20	3		0.371
					4		0.420
実測値	備考 湾外 : 8.26m (平均), 湾内 : 2.88m (平均)						0.349

波の湾奥(水色矢印)、島嶼の沖側(赤色矢印)、周辺海岸(赤色矢印)における津波の浸水高(I)と遡上高(R)の例⁵⁾を図-4に示す。島嶼の沖側と周辺海岸における平均津波高は8.26m、湾奥における平均津波高は2.88mで、両者の比は0.35程度である。各海域の幅や水深の条件を変化させたときの概算値(式(3))と現地実測値(平均)の比較結果を表-1に示す。表から、概算値は実測値に比べてやや大きめであるが、本概算法はある程度有用であることが判断される。

また、岩手県の山田湾においても同様に概算法の有用性を検討した。津波の浸水高と遡上高の例を図-5に示す。湾外における平均津波高は23.9m、湾内における平均津波高は8.57mで、両者比は0.36程度である。

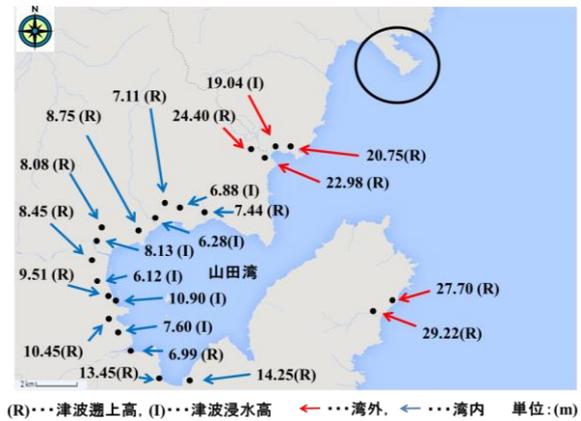


図-5 現地調査に基づく2011年東北地方太平洋沖地震津波の山田湾の湾奥と湾外周辺部における津波高

表-2 概算式(式(3))と現地実測値(平均)の比較例(山田湾)

	$b_1(km)$	$b_2(km)$	$b_3(km)$	$h_1(m)$	$h_2(m)$	$h_3(m)$	低減率
概算法	5.3	0.9	4.5	90	20	30	0.519
					25		0.568
				95	20		0.520
					25		0.568
実測値	備考 湾外 : 23.87m (平均), 湾内 : 8.57m (平均)						0.359

幅や水深を変化させたときの概算値(式(3))と現地実測値(平均)の比較結果を表-2に示す。概算値と実測値の低減率を比べると大きな差が出た。これは山田湾の湾外に半島が存在していることや津波が湾に対して直角に入射して来ないためと考えられる。

4. おわりに 湾口に島嶼を有する湾内における津波高を数値シミュレーションの実施なしに概算する方法を提示し、その有用性を検討・確認した。また、松島湾内における津波高が島嶼の沖側や周辺海岸のものに比べて低かった理由を実証したと考えている。しかし、条件によっては適用できない場合もあることがわかった。今後は本概算法を他の湾へ適用し、その適用性・有用性を幅広く検討したい。

謝辞: 科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究, 26560169)(代表: 弘前大学 片岡俊一)の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 読売新聞: 「松島が守ってくれた」対岸の町、死者1人、2011年3月23日。
- 2) 片岡俊一: 地震関連資料と津波高さとの関係, 科学研究費補助金 沿岸域の地殻変動量を利用した津波予測の可能性に関する研究打ち合わせ資料, 2015年1月9日。
- 3) Lamb H.: HYDRODYNAMICS, 6th ed., pp.262-263, 1932.
- 4) 梶浦欣二郎: 湾水振動におよぼす防波堤の効果, 東京大学地震研究所彙報, 第41号, pp.403-418, 1963.
- 5) The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group: ttjtoriginaldata_20121003.