

上甕島浦内湾における 2009年2月潮位副振動の被害調査

Survey on February 2009 Abiki Disaster in Urauchi Bay, Kamikoshiki Island

柿沼太郎¹・浅野敏之²・井上太介³・山城 徹⁴・安田健二³

Taro KAKINUMA, Toshiyuki ASANO, Taisuke INOUE, Toru YAMASHIRO and Kenji YASUDA

Field surveys were conducted around Urauchi Bay in Kamikoshiki Island to examine damage due to the secondary undulation, which is called 'abiki', in February, 2009. Eight fishing boats capsized at Oshima fishing port, where the occurrence time is supposed to be around when the low tide appeared because of the overlap of the spring tide and the long-period oscillation. Eight houses were flooded under floor level due to the long-period waves which propagated upstream on a river and overflowed nearby the residential area. The water level reached a maximum about three meters at Oshima fishing port. According to both the observed and simulated data, the predominant oscillations are the first and second modes, the last of which is peculiar to T-type bays. The damping processes of these modes were also numerically simulated.

1. 序論

2009年2月24日22:00頃～26日に、九州北部から奄美地方の広範囲で、顕著な高潮位が発生した。長崎で潮位全振幅約1.57m(24日23:34)が、そして、枕崎で最高潮位約1.59m(25日7:55)が記録された。このとき、潮位が比較的短時間で振動する副振動により、鹿児島県と熊本県において、船舶の転覆・沈没及び家屋の床上・床下浸水等の被害が発生した。なお、24～25日には、前線が九州南岸付近に停滞し、25日3:00頃に、中心気圧1,008hPaの低気圧が九州南部を東に進行している。

本論文では、特に大きな漁船転覆被害の生じた鹿児島県薩摩川内市(さつませんだいし)上甕島(かみこしきじま)の浦内湾を対象として、2009年2月28日～3月1日に実施した被害調査の結果をとりまとめる。

更に、2008年10月7日～21日及び2009年3月1日～15日に実施した現地観測並びに非線形浅水方程式を基礎方程式とする数値解析の結果に基づき、浦内湾の振動応答特性に関して検討する。

2. 現地調査、現地観測及び数値解析の方法

(1) 現地調査の方法

鹿児島県薩摩川内市上甕島に位置する浦内湾は、図-1のように、湾奥に向かって2本の湾に分岐するT型の湾形を有する。著者らは、2009年2月28日～3月1日に、

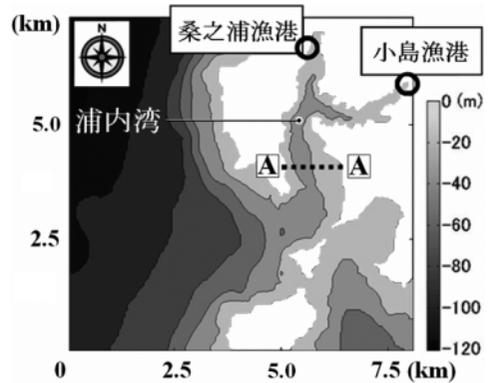


図-1 浦内湾を含む海域の水深

浦内湾の海岸を踏査し、潮位副振動に関して住民に口頭で質問調査を行ない、2009年2月24日～26日に目撃された最高潮位を測量した。

なお、潮位副振動は、九州地方において「あびき」と呼ばれるが(富樫ら, 1986)、潮位副振動に伴う比較的急速な潮位変化や流れによって、仕掛けた網が曳かれるという現象が、この語の由来の一つとして考えられている。

(2) 現地観測の方法

浦内湾における水位及び流速の観測を2008年10月7日～21日(第1回観測)及び2009年3月1日～15日(第2回観測)に実施した。このうち、2008年10月7日の水位は、欠測であった。現地観測の手法に関しては、山城ら(2009)に詳しく述べられている。

(3) 数値解析の方法

非線形浅水方程式系に基づく数値モデルを適用して、数値解析を行なった。2本の湾に分岐した湾形を有する「T型湾」は、湾奥を腹、湾口付近を節とする、分岐湾毎の「湾水振動モード」と、二つの湾の湾奥を腹とする

1 正会員 博(工) 鹿児島大学大学院准教授
理工学研究科 海洋土木工学専攻
2 正会員 工博 鹿児島大学大学院教授
理工学研究科 海洋土木工学専攻
3 学生会員 鹿児島大学大学院
理工学研究科 海洋土木工学専攻
4 博(理) 鹿児島大学大学院准教授
理工学研究科 海洋土木工学専攻

「湖水振動モード」の、2種類の振動モードを持つ。本論文では、これらのモードの振動の減衰過程に着目し、T型モデル湾及び浦内湾を対象とした潮位副振動の数値解析を行なった。計算対象領域は、T型モデル湾が図-2、浦内湾が図-1である。これらの領域の左辺より規則波を入射させた。計算格子間隔及び計算時間間隔は、それぞれ、 $\Delta x = \Delta y = 100\text{m}$ 及び $\Delta t = 0.5\text{s}$ とした。数値モデルの詳細に関しては、白橋ら(2008)を参照されたい。

3. 浦内湾における潮位副振動の現地調査結果

浦内湾の一つの分岐湾の湾奥に位置する小島(おしま)漁港において、大きな漁船転覆被害が発生し、家屋の床下浸水が見られた。本論文では、主として、小島漁港周辺地域における調査結果を示す。

なお、掲載写真のうち、写真-1~4は、薩摩川内市役所より提供された。また、キャプションの括弧内に記された日時は、写真の撮影日時である。

- (1) 例年、2~3月頃に潮位副振動が見られ、漁船転覆被害の報告もある(志賀ら, 2007)。しかしながら、2009年2月24日~26日の潮位変動は、例年と比較して、異常に高いものであった。
- (2) 2月16日より、断続的に副振動が続いていた。
- (3) 今回の副振動による人的被害は、報告されていない。
- (4) 鹿児島県の西海岸及び甌島列島で、漁船19隻の転覆被害があった。
- (5) 小島漁港及びその周辺の浸水被害範囲を図-3に示す。上甌町瀬上地区では、8棟の家屋に床下浸水の被害があった。住居の塀に残った浸水の痕跡を写真-1に示す。
- (6) 瀬上地区において、船外機艇やドライブ船を含む係留中の漁船8隻の転覆被害があった(写真-2)。
- (7) 船の係留ロープの一部が切れた。これは、24日23:00~25日3:00頃の大干潮と副振動低潮位とが重なったことにより発生した、顕著な低潮位に起因すると推測される。低潮位により下がった船体が、係留ロープに吊られる格好となり、漁船が浸水・転覆したと考えられる。なお、潮位変動の観測記録は、長崎海洋気象台(2009)に掲載されている。
- (8) 瀬上地区で、漁船引き上げ作業中の25日8:30頃に、水位が急激に上昇し始め、小島地区の車両が浸水した。車両の浸水状況を写真-3に示す。
- (9) 小島漁業協同組合の近くに設置されている高さ約1.3mの防潮堤陸閘が開いており、道路が浸水した。
- (10) 25日8:30頃の、瀬上地区における最高潮位として、陸上に立つ大人の腰の高さと、ガードレール最高端より約0.1m下という二つの証言を得た。
- (11) (10)の値は、小島地区の最大全振幅の、鹿児島地

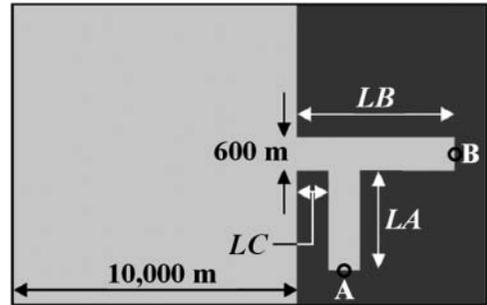


図-2 T型モデル湾を対象とした解析のための計算領域(ここで、 $LA=2,000\text{m}$ 、 $LB=3,000\text{m}$ 及び $LC=700\text{m}$ である。湾幅は、600mで一定である。静水深は、20mで一様とする。)



図-3 上甌町小島漁港及びその周辺の浸水被害範囲



写真-1 住居の塀に残る浸水の痕跡(瀬上地区)



写真-2 転覆漁船の引き上げ(瀬上地区, 25日8:00頃)

方気象台による推定値である約3.1mとほぼ一致し、副振動の過去最大全振幅記録約2.78m（これは、長崎における1979年3月31日の値である。）より大きい。

- (12) (10)の高潮位は、大潮満潮と副振動高潮位が重なったために発生した。
- (13) 湾分岐点～湾口付近に設置されていた、1ユニットの寸法約270m×105m×13m（深さ）の大型マグロ養殖用生簀に破損が見られた。この原因は、現時点で明らかでないが、ブロックの重りでアンカーされた係留索に生簀が引っ張られたためと仮定すると、高潮位の現れた(8)の時刻頃に破損が発生したと推測される。この推測が正しいのであれば、大型生簀の破損と漁船の転覆とは、発生時刻が全く異なることになる。
- (14) 小島漁港周辺は、丘に囲まれており、海からの浸水が、沿岸の道路及び畑等に限られた。
- (15) しかしながら、瀬上地区で、副振動の河川遡上が約100m上流まで見られた。そして、河口～約50m上流の範囲で越流が生じた。(5)で述べた床下浸水家屋8棟は、すべてこの河川沿いの低地にあり、副振動の河川遡上に伴う越流により浸水被害が発生した。
- (16) その後、引き潮が発生した。護岸上から水が海に流下する様子を写真-4に示す。
- (17) 28日には、転覆や破損の被害を受けた船が、エンジンや電気系統等の修理のため、小島地区に陸揚げされていた(写真-5)。
- (18) 図-3のS₁地点に位置する堤防は、2008年10月6日の時点において、中詰めの流れにより、岸側部分が破損していた。この堤防の岸側部分が、今回の潮位副振動により、岸向きに大きく傾き、更に、堤防の沖側部分も沖向きに倒れた(写真-6及び7)。
- (19) 図-3のS₂地点の突堤において、基盤部の先端沖寄りの被覆石が流出した(写真-8)。28日15:00頃は、潮位副振動に伴い、瀬上地区前の湾奥の海底が露出しており、流出した被覆石が、この突堤の岸側に写真-9のように散在している様子が確認された。
- (20) (18)及び(19)より、場所によっては、潮位副振動に伴い、比較的大きな流速が発生したことが推察される。写真-5に示す漁船舳先の破損や、(13)に述べた大型生簀の破損に、潮位副振動と潮流に伴う比較的大きな流速が関与した可能性もある。
- (21) 小島漁港が存在する分岐湾と異なる、他方の分岐湾の、湾奥よりやや湾口側に位置する桑之浦漁港においても、事後に、ゴミ等の浸水に伴う散乱が認められた。

4. 浦内湾の水面変動の現地観測結果

九州地方では、顕著な潮位副振動が、例年、2～3月に



写真-3 車両の浸水 (小島地区, 25日 8:33)



写真-4 護岸からの引き潮 (瀬上地区, 25日 8:36)



写真-5 転覆時に舳先が護岸に衝突して破損した漁船

発生する。2008年10月に実施した第1回観測では、被害をもたらすような大きな潮位変動が得られなかった。しかしながら、浦内湾が有する固有周期が明確に記録された。第1回観測で得られた結果の一例を図-4に示す(山城ら, 2008)。ここで、小島漁港における水面変動の観測結果が示されている。図-4より、このとき、浦内湾において、周期約24.8分の振動と、周期約10.7～12.6分の振動が卓越していたことがわかる。本観測結果と数値解析結果(白橋ら, 2008)とを比較し、前者の振動が、湾奥で腹、湾口付近で節となる第1モードであり、後者の振動が、二つの分岐湾の湾奥で腹となる第2モードであることがわかる。

他方、2009年3月に実施した第2回観測の結果の一例を図-5に示す。ここでは、気圧補正された、1時間以下の周期を有する水面変動成分を示している。小島漁港において、約1.2mの全振幅を有する副振動が記録されている。この振動は、12.0～13.0分の周期を有する、浦内湾

の第2モードの振動である。

5. 浦内湾及びT型モデル湾を対象とした数値解析

(1) 浦内湾における潮位副振動

非線形浅水方程式系を基礎方程式系とする数値モデルを適用した数値解析の結果(白橋ら(2008)の図-4)によると, 小島・桑之浦の両漁港で第1モードのピークが現れる入射波の周期は, 約27分である。また, 小島漁港で第2モードのピークが現れる入射波の周期は, 約12分, 桑之浦漁港で第2モードのピークが現れる入射波の周期は, 約10分である。周期12分の入射波に対する, 小島漁港及び桑之浦漁港における水面の応答を図-6に示す。これより, 入射波波高が約0.54mであるとき, 小島漁港において, 約3.0mの全振幅を有する第2モードの振動が現れることがわかる。

(2) T型モデル湾における潮位副振動の減衰

図-2の左辺より様々な周期の規則波を入射させたときの, モデル湾湾奥中央A, または, B地点における波高増幅率の計算結果(白橋ら(2008)の図-8)より, 図-2のT型モデル湾では, 第1~第3モードのピークの固有周期が, それぞれ, 約1,150, 650及び300sであることがわかる。

本論文では, これら各モードの振動の減衰過程に着目して数値解析を行なった。すなわち, これらの固有周期を周期とする規則波の入射を継続し, 潮位副振動が十分に発達してから, 突然に入射を停止する。入射停止時刻 $t=0$ からの, 第1~第3モードの各振動によって図-2のT型モデル湾湾奥中央A地点に現れる最高水位の時間変化を図-7に示す。第2モードの振動が, 第1及び第3モードの振動よりも減衰しにくいことがわかる。

二つの湾奥を腹とする湖水振動に, 一度エネルギーが与えられると, 波の入射が停止しても, エネルギーが湾内にトラップされた状態となり, 振動のエネルギーが外海に逃げにくい。これに対し, 1端が湾口である湾水振動では, エネルギーが湾口から外海に逃げやすく, 振動が減衰しやすい。

(3) 浦内湾における潮位副振動の減衰

図-1の左辺より, 5. (1) で述べた固有周期に近い1,600s, または, 720sを周期とする規則波の入射を継続し, 潮位副振動が十分に発達してから, 突然に入射を停止する。入射停止時刻 $t=0$ からの, 第1及び第2モードの各振動によって小島漁港及び桑之浦漁港に現れる最高水位の時間変化を図-8に示す。第1モードの振動が, 第2モードの振動よりも減衰しにくいことがわかる。

これは, 図-2のT型モデル湾の場合と異なる結果である。こうした差異が生じる原因として, モデル湾と浦内



写真-6 破壊した堤防 (小島地区, 2008年10月6日)

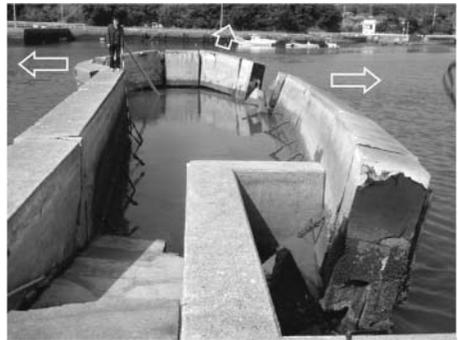


写真-7 破壊した堤防 (小島地区, 2009年2月28日)



写真-8 被覆石が流出した突堤基盤部先端 (瀬上地区, 2月28日)



写真-9 散在する被覆石 (瀬上地区, 2月28日)

湾の湾形の違いが考えられる。後者では, 湾中央線が湾曲し, 水路幅が変化し, また, 静水深が場所的に異なる。この問題に関しては, 今後, より詳細な解析により考察

したい。

6. 結論

2009年2月に発生した副振動による被害に関して、主として浦内湾の小島漁港周辺の調査結果をまとめた。現地調査から得られた小島地区の最高潮位は、鹿児島地方気象台による当地の最大全振幅の推定値3.1mとほぼ整合し、今回の副振動が過去最大級であったことがわかった。大潮干潮と副振動が重なり、漁船の浸水・転覆被害が多発したと推察される。海岸構造物や大型生簀に破損が見られ、このことは、場所によっては、大きな流速が発生したことを示唆している。また、副振動の河川遡上に伴い、河川の越流が発生し、家屋に床下浸水被害が生じた。

2008年10月及び2009年3月に実施した現地観測及び非線形浅水方程式を基礎方程式とする数値解析の結果に基づき、2本に分岐する浦内湾の振動応答特性の検討を行った。波高約0.54m、周期12分程度の入射波が3波以上継続して浦内湾に入射するとき、小島漁港において、約3.0mの全振幅を有する第2モードの振動が現れる。

更に、各モードの振動の減衰に着目したところ、モデル湾では、T型湾に特有の第2モードが、一方、浦内湾では、第1モードが、他のモードの振動よりも減衰しにくいことがわかった。こうした違いの生じる原因の解明は、今後の解析に譲るが、振動が残存しやすいモードの固有周期に近い周期を有する長周期波が入射した場合、入射時刻が満潮、または、干潮の時刻とずれていても、残存しているモードの振動が、後から訪れる満潮や干潮と重なると、大きな潮位変動が発生する可能性がある。

謝辞：薩摩川内市役所甌島支所の方々には、写真及び副振動の河川遡上等相关する貴重な情報を快く御提供いただいた。また、現地調査において、鹿児島大学大学院理工学研究科の山本洋平君の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

志賀 達・市川真人・楠元健一・鈴木博樹 (2007)：九州から薩南諸島で発生する潮位の副振動の統計的調査，気象庁測候時報，第74巻特別号，pp. S139-S162。
 白橋朋大・柿沼太郎・浅野敏之・佐藤道郎 (2008)：甌島の分岐した湾で発生する長周期水位変動の数値解析，海岸工学論文集，第55巻，pp. 216-220。
 富樫宏由・中村武弘・新田喜浩 (1986)：長崎湾のアビキの有限要素法による解析と河川遡上の現地観測，第33回海岸工学講演会論文集，pp. 80-84。
 長崎海洋気象台・鹿児島地方気象台・熊本地方気象台 (2009)：平成21年2月24日からの潮位の副振動，災害時気象資料，13p。
 山城 徹・安田健二・久保山知明・城本一義・柿沼太郎・浅野敏之 (2009)：上甌島浦内湾で観測した副振動の特性について，海洋開発論文集，Vol. 25，pp. 1365-1370。

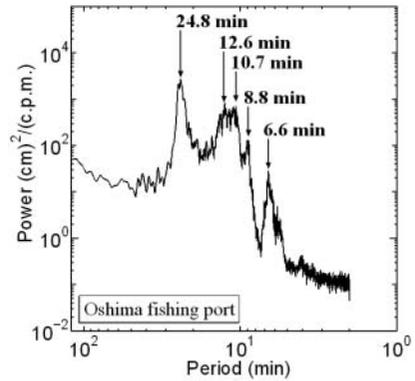


図-4 小島漁港におけるスペクトル (第1回観測の結果)

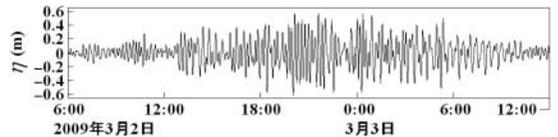


図-5 小島漁港における水位変動 (第2回観測の結果)

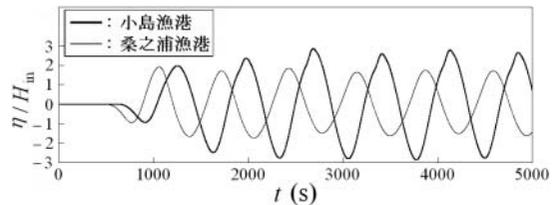


図-6 周期720sの波が入射したときの小島漁港と桑之浦漁港における水面変動の計算結果 (縦軸は、水面変動ηと入射波波高H_{in}の比であり、横軸は、時間t(s)である。)

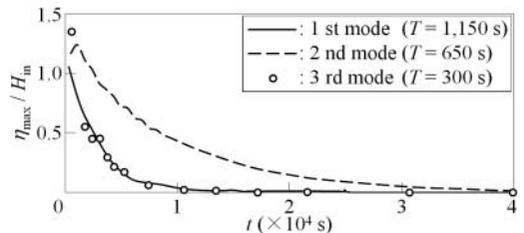


図-7 T型モデル湾湾奥A地点に現れる各モードの振動に伴う最高水位η_{max}の時間変化

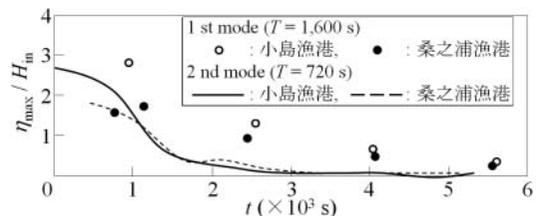


図-8 浦内湾の小島漁港及び桑之浦漁港に現れる各モードの振動に伴う最高水位η_{max}の時間変化