長周期波を考慮した漁船の越波による 被害の再現と対策について

加藤 広之¹・横山 大地²・小林 健一³・西嶋 靖子³
・佐藤 勝弘⁴・五十嵐 雄介⁴・西崎孝之⁴

¹ 正会員 (一財) 漁港漁場漁村総合研究所 主席主任研究員
(〒101-0032 東京都千代田岩本町 3-4-6 トナカイタワーズビル)
E-mail: katou@jific.or.jp

² 福井県農林水産部水産課 企画主査
(〒910-8580 福井県福井市大手 3-17-1)
E-mail: d-yokoyama-4e@pref.fukui.lg.jp

³ 福井県越前漁港事務所 漁港課 主任
(〒916-0147 福井県丹生郡越前町内郡 14-36)

⁴ 正会員 (一財) 漁港漁場漁村総合研究所 専門技術員
(〒101-0032 東京都千代田岩本町 3-4-6 トナカイタワーズビル)
(一財) 漁港漁場漁村総合研究所 専門技術員
(〒101-0032 東京都千代田岩本町 3-4-6 トナカイタワーズビル)
(一財) 漁港漁場漁村総合研究所 部長
(〒101-0032 東京都千代田岩本町 3-4-6 トナカイタワーズビル)
E-mail: nishizaki@jific.or.jp

福井県越前漁港地区は、冬季荒天時に著しい越波が生じており、安全かつ円滑な漁業活動に支障をきたしている。2012年12月7日に冬季風浪による越波のため、漁船の転覆被害が発生した。

本研究の目的は、安全かつ円滑な漁業活動の維持のために、越波による漁船被害の状況を再現することであり、また、設計波来襲時における漁船保護のための越波対策を提案することである。

Key Words : long-period waves, overtopping, CADMAS - SURF, fishing port

1. はじめに

福井県越前漁港地区は、冬季荒天時に著しい越波が生じており、安全かつ円滑な漁業活動に支障をきたしている。同地区では2012年12月6日11時に冬季風浪による越波のため、写真-1、写真-2に示すように漁船の転覆被害が発生した。

本調査は、海浜勾配が複雑かつ急峻である越前漁港地区の立地特性のためブシネスク方程式を用いて波浪変形計算を行い、その結果から長周期波振幅および水位上昇を考慮した数値波動水路¹⁾(CADMAS-SURF)により、越波による漁船被害の再現を行った。さらに、越波を再現できた手法を用い、設計波来襲時の漁船保護のための越波対策として、上部工の嵩上げ、遊水部付き消波工設置工法などを提案し、経済性に優れた上部工の嵩上げ工を提案した。

写真-1 被災箇所

写真-2 被災状況

2. 漁船被害の再現

2012年12月6日11時に漁船の転覆被害が発生しており、ここでは、被災時の波浪の検討などにより、被災の再現に関する検討を行う。

(1) 被災時波浪

図-1に越波により、漁船被害が発生した越前漁港厨西地区の位置図を示す。図-1より急峻で複雑な海底地形であることがわかる。

2012年12月6日に発生した冬季風浪諸元を気象データから推算した結果²⁾を図-2に示す。

被災時の波浪は被災時の沖波推算結果から、以下の諸元とした。

$$H_{1/3}=6.1\text{m}, T=12\text{s}$$

推算された波浪諸元を用いて、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算と合田による越波流量の算定図³⁾から、護岸背後の期待越波流量を算定したところ $0.02\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{s}^4)$ となり、漁船被害を再現できなかった。

被災時の波浪来襲時の状況を推算するために、図-1に示すような急峻かつ複雑な地形を踏まえ、ブシネスク方程式を用いて、有義波高、周期30秒以上の長周期波振幅(Z_{rms})平均水位の上昇量について計算を行った。

計算範囲は厨西護岸を中心に東西1.2km、南北2.0km、計算格子間隔は5m格子とした。沖側の水深は40m程度である。

図-1 検討対象地区

図-2 被災発生時の波浪諸元推算結果

図-3 有義高波分布

図-4 長周期波振幅分布

図-5 平均水位の上昇量

被災時波浪の有義波浪分布を図-3に、長周期波振幅分布を図-4に、平均水位の上昇量を図-5に示す。

図-4より、被災時の有義波高は対象箇所²⁾で8~8.5m、図-5より、長周期振幅は有義波における Z_{rms} 値で30cm程度、平均水位の上昇量は被災時波浪では40~60cm程度である。

(2) 被災時の再現検証

被災状況を再現するために数値波動水路 (CAMAS-SURF) により, 計算を行った.

対象地区の越波状況をビデオで観察すると 3~5 分間隔で大きな越波が発生しており, 波群の時間平均越波流量としては必ずしも大きな値ではないことがわかった. ブシネスク方程式による波浪変形計算結果から平均水位の上昇量は60cm程度であり, 数値波動水路の入力条件は, 越波を再現するために, 長周期振幅の1/10 最大値に相当する長周期波形を短周期波群に追加することとし, 長周期波の周期は, ビデオより大きな越波の発生間隔が3~5分である状況から, 長い周期を選択し, 300秒とした.

- ・最大水位上昇量: 0.6m (潮位H_{WL}=DL+0.5m に加算)
- ・長周期波: 振幅 0.6m (周期=300 秒)

数値波動水路の造波境界の水深は, 波浪変形計算の入射境界の水深と同じ 40m であることから, 被災時波浪諸元は $H_{1/3}=6.1\text{m}$, $T=12\text{s}$ とした.

計算地形を図-6 に, 表-1 に主な計算条件に示す.

図-6 計算格子図 (上: 全体沖岸-850~270m、下: 堤体周辺 間隔 50cm)

表-1 計算条件

項目	設定値
水路範囲	全体長さ 1120m)
造波地点	堤体から 680m 沖側, 水深 40m
最小格子間隔	水平, 鉛直 50cm
計算時間	100 波以上、約 2000 秒、
越波量算定時間間隔	0.05 秒

被災時波浪の護岸天端の越波量と消波工法先部の入射波形を図-7 に, 数値波動水路の計算結果を図-8 に示す.

図-7 より, 一波あたりの越波量は最大 $4.25\text{m}^3/\text{m}$ となっている.

小型船舶の越波流量として, 合田⁵⁾はマリーナにおける「護岸から 5~10m の小型ボート沈没」に対応する許容越波流量として $0.01\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ を提案している. また, 上記の根拠となった表-2 に示す越波量評価マニュアル⁵⁾では, 越波流量 $10\text{l}/\text{s}/\text{m}$ ($=0.01\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) の場合の最大越波量 (1 波当たりの越波量) の目安として $1,000\sim 10,000\text{l}/\text{m}$ ($=1\sim 10\text{m}^3/\text{m}$) が示されている.

以上のことから, 被災時には, 船舶の被災許容越波量以上の $4\text{m}^3/\text{m}$ 程度の越波の発生により, 漁船転覆被害が発生したと考えられる.

図-8 計算結果 (上: 越波状況 1,452 秒後)

表-2 最大越波量の許容値

Hazard type and reason	Mean discharge	Max volume
	q (l/s/m)	V _{max} (l/m)
Significant damage or sinking of larger yachts	50	5,000-50,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall. Damage to larger yachts	10 ⁽¹⁾	1,000-10,000
Building structure elements	1 ⁽²⁾	~
Damage to equipment set back 5-10 m	0.4 ⁽¹⁾	~

⁽¹⁾ Note: These limits relate to overtopping defined at the defence.

⁽²⁾ Note: This limit relates to the effective overtopping defined at the building.

図-7 護岸の越波量と入射波形 (被災時)

現状の断面では越波により、漁船被害が発生すると考えられ、越波対策について検討を行い、現地に適した対策工法を選定する。

(1) 設計波来襲時の越波量

厨西護岸の設計波は来襲波高が最大となる WNW とし、波浪諸元は $H_{1/3}=8.0\text{m}$, $T=13\text{sec}$ となる。

被災時と同様に設計波来襲時のブシネスク方程式による計算結果を図-9~11 に示す。

図-9 有義波分布

図-10 長周期波振幅分布

図-11 水位の上昇量

図-10~11 より、長周期波振幅は、設計波来襲時に Z_{rms} 値で 30cm 程度であり、平均水位の上昇量 60cm 程度である。

表-1 と同じ計算条件により、設計波来襲時の数値波動水路による計算を実施した結果を図-12 に示す。

図-12 より、1 波当たりの最大越波量は $10.2\text{m}^3/\text{m}$ 程度であり、被災時の越波量を超えていることから断面改良が必要であることが確認された。

(2) 対策工法の検討

対策案として、対策案-1 (パラペットのみ嵩上げ)、対策案-2 (パラペットと消波ブロックの嵩上げ)、対策案-3 (遊水部付き消波工) を選定し、検討を行った。

図-13 に数値波動水路計時の対策案 (イメージ) を示す。

図-13 に示す各対策案の断面について数値波動水路により、越波量を計算し、天端高を求めた。許容越波量としては、表-2 より、最小値である $1\text{m}^3/\text{m}$ とした。

案-1についてパラペットの天端高さを16mとした場合と17mにした場合の計算結果を図-14 に示す。図より許容最大越波量を満足する天端高さは+17.00m となる。

図-13 対策案

図-12 護岸の越波量と入射波形 (設計波)

図-14 越波量の計算結果 (天端高 16m, 17m)

表-3 越波計算による検討結果

	TYPE01 胸壁嵩上げ	TYPE02 胸壁・ 消波ブロック嵩上げ	TYPE03 遊水部付消波工
天端高	+17.00m	+14.50m	+15.20m
消波工天端高	+10.70m	+14.50m	+5.30m
勾配	1:2.0	1:2.0	港外側 1:1.5 港内側 1:2.0
最大越波量 (m³/波)	0.83	0.84	0.99
許容越波量 との比較	○	○	○

案-1と同様に天端高さを変えた数値波動水路による検討を行い、案-2、案-3について、許容越波量を満足する天端高さを検討した。

計算の結果、案-2では消波工およびパラペットの天端高+14.2m、案-3では、パラペットの天端+15.2m、消波工天端高+5.3mとなった。

検討を取りまとめた結果を表-3に示す。

(3) 対策工法の検討

設計波、設計津波、設計津波を発生させる地震とレベル1地震動について、安定照査を行い、各対策案の標準断面図を作成した。これらの対策案について、経済性、施工性、について比較検討を行い、図-15に示す経済性に優れた案-1(パラペットのみの嵩上げ案)を選定した。

4. 対策工延長の検討

図-16に厨護岸の平面図を示す。

図-15 対策工断面図

前述までの検討は、図-16に示す代表断面で検討を行っている。

ここでは、検討対象となる泊地の西側は、越波対策として、遊水部付き消波工が設置されており、その効果が期待できるが、取り付け部のNo5について、越波が発生することが考えられ、対策工の必要性について検討を行った。

No5の数値波動水路計算時の断面を図-17に示す。

No5の数値波動水路の計算結果を図-18に示す。

図-18から1波当たりの最大越波量は5.53m³/m/波程度であり、現状断面で許容越波量を越えていることから、断面の改良が必要になり、対策工を実施する。

図-19に対策施設の平面図を示す。

図-16 厨地区平面図

図-17 No5 横断面

図-19 対策工平面図

5. おわりに

本検討では、漁船の転覆被害が発生した越前漁港厨地区で、被災の再現とその対策案の検討を行った。

通常の越波流量の検討では、再現できなかった漁船被害時の越波の状況について、ブシネスク方程式の計算結果から、水位上昇量と長周期波の振幅を考慮し、3～5分間隔の大きな越波を再現できた。

このような高波浪時の漁船被害時の越波量の評価は、時間平均的な越波流量ではなく、一波あたりの越波量で評価することを提案した。

越波を低減させる工法として、上部工の嵩上げ案を提案し、必要な延長を提案した。

今後、対策案の実施後の状況について、モニタリングなどにより、検討結果について検証する必要がある。

謝辞：本調査は福井県より発注された「漁港施設機能強化事業厨西護岸概略設計業務委託 26-2」の一部をとりまとめたものであり、本調査研究をとりまとめるのにあたり、ご協力をいただいた福井県関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1) (財)沿岸技術研究センター (2008) : CASDMAS-SURF 実務計算事例集, 沿岸技術ライブラリー No. 30.
- 2) 福井県越前漁港事務所 漁港施設機能強化事業 沖波推算業務委託業務計画書 .pp.資 V-1-5, 2013
- 3) 合田良実, 不規則波に対する護岸の期待越波流量について, 第 17 回海岸工学講演会論文集 pp.125-132. 1970
- 4) 福井県越前漁港事務所: 漁港施設機能強化事業厨西護岸概略設計業務委託 26-1 .pp.90-95, 2014
- 5) 合田良実 耐波工学 鹿島出版会, pp.146, 2008.
- 6) EA(UA)・ENW (NL)・HFKI (DE) :Eurotop Wave overtopping of Sea Defenses and Related structure-Assessment Manual, 2007, Section 5.2.1.

(2016.2.4 受付)

図-18 護岸の越波量と入射波形 (No5)

CALCULATION FOR WAVE OVERTOPPING WITH CONSIDERATION FOR LONG-PERIOD WAVES AND COUNTERMEASURES FOR RESULTING DAMAGE ON FISHING BOATS

Hiroyuki KATO, Daichi YOKOYAMA, Kenichi KOBAYASHI, Yasuko NISHIJIMA, Katsuki SATO, Yusuke IGARASHI and Takayuki NISHIZAKI

Large-amplitude waves and long-period waves, which are concurrently induced by winter storms, cause overtopping at breakwaters in Kuriya-chiku of Echizen Fishing Port in Fukui prefecture, hindering safe and smooth fishery activities. For instance, in 7 December 2012th, wave overtopping caused downfall of several fishing boats at the site.

In this study, we calculated wave overtopping at the port and investigated effective countermeasures to reduce overtopping in case of design wave to enhance safety inside the port.