

台風 0314 号による釜山沿岸の高潮・高波災害

高山知司* ・雨森洋司** ・金 泰民***
間瀬 肇**** ・姜 閔求***** ・河合弘泰*****

台風 0314 号は、2003 年 9 月 12 日の夕方に中心気圧 950 hPa で馬山の西側に上陸し、朝鮮半島を横切って、13 日の未明に日本海側に抜けた。当初、釜山が大きな高潮災害に見舞われたとの報道があった。外洋に面している釜山に大きな高潮が発生したことに疑問があり、10 月 22 日から 2 日間にわたって釜山の台風災害について現地調査をした。本報告は、釜山における現地調査の結果を示すとともに、釜山の災害は高潮災害ではなく、高波災害であることを明らかにしたものである。

1. はじめに

韓国南部の釜山市において台風 0314 号による高潮災害で多くの人が亡くなったことが 2003 年 9 月 13 日にテレビで放映された。釜山市は外洋に直接面しており、大きな高潮は起きないと推測できるのになぜ高潮災害かという疑問があった。その後、馬山市で大きな高潮災害と発表された。

その内に独立行政法人港湾空港技術研究所海洋水工部高潮津波研究室長 富田孝吏氏から韓国の高潮被災地を調査したメールが届いた。彼の報告によると、釜山市では船舶ホテルが転覆したり、かなり浸水が起きていた。また、釜山市から 100 km 位西側に位置する馬山市では多くの人が高潮によって溺死したとのことであった。

そこで、このような高潮災害状況を実際に見ておく必要があるとの観点から、韓国の大学と連絡を取って、2003 年 10 月 22 日から 23 日の 2 日間わたって高潮災害調査をした。韓国側でわれわれに同行してくれたのは、Gyeongju 大学の Kweon Hyuck-Min 助教授と Donghae 大学の Kim In-Ho 教授の 2 人である。この 2 人の先生には私達の滞在中最後まで付き合って頂いた。日本側の参加者は、高山と間瀬、金の 3 人である。

本報告は、台風 0314 号による海岸災害に関して韓国南部を現地調査して、この高潮・高波災害の特徴を明らかにするとともに、災害を起こした高潮や高波の再現を試みた結果について報告するものである。

2. 台風 0314 号の特徴

(1) 台風 0314 号の経路

台風 0314 号は東経 140 度、北緯 25 度付近で 2003 年 9 月 6 日に発生し、北西方向に進行し、9 月 11 日の沖縄宮古島付近から北東方向に向きを変えて、韓国を直撃し、

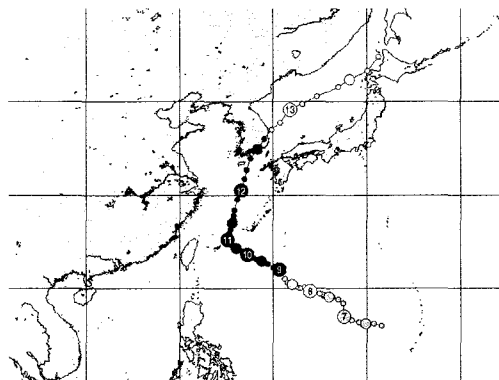


図-1 台風 0314 号の経路図

韓国南部を横切って日本海に抜けた。この台風の経路については図-1 に示している。この図からわかるように、台風が宮古島付近にあったときに台風の中心深度が 910 hPa と成って、このときに最も低くなった。宮古島では風速 70 数 m/s の風が吹いて、宮古島に設置されていた風力発電装置の多くが倒壊して、大きな惨事となった。

韓国には、2003 年 9 月 12 日 20:00 に Sachon に上陸した。このときの台風の中心気圧は 950 hPa で、最大風速が 40 m/s であった。そして、9 月 13 日 3:00 に Uljin の北 30 km の地点から日本海に抜けていった。そのときの気圧は 970 hPa で、そのときの最大風速は 31 m/s であった。

このように台風 0314 号は北東方向から韓国に近づき、方向を変化させることなく、そのままの方向で日本海に抜けている。このような台風の進行方向では、釜山では風は南東方向から南、南南西方向に変化したと考えられ、大きな波が来襲したと推測される。

(2) 台風の規模

台風 0314 号は、宮古島付近では 910 hPa と近年にない巨大な台風であった。北上するに従って台風はその勢力を減らしていったけれども、韓国上陸時においても 950 hPa を維持しており、韓国に上陸した過去の台風の中でも規模の大きな台風であることには間違いはない。

* フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所
** 学生会員 工修 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
*** 正 会 員 工修 京都大学研究員 防災研究所
**** 正 会 員 工博 京都大学助教授 防災研究所
***** 正 会 員 三星物産(株) 建設部門技術研究所
***** 正 会 員 工修 (独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部



図-2 釜山周辺地図



写真-2 Suyeong の被害にあったホテル

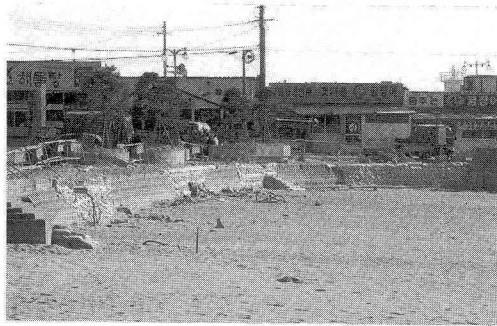


写真-1 Songjeong-Dong の砂浜海岸



写真-3 Suyeong の護岸状況

3. 釜山における高潮・高波災害

(1) Songjeong-Dong における災害

Songjeong-Dong は、図-2 に示すように釜山市の東側に位置し、日本海に直接面した美しい砂浜を有する海岸の街である。夏には多くの海水浴客で賑わう海浜などのことである。海浜沿いには片側1車線の幅約9m道路が走り、海側には5m程度の歩道がある。歩道の端は護岸になっていて、所々に階段があり、階段で砂浜に下りることができるようになっている。護岸の高さは、2m弱程度である。護岸の前に20mから30m幅の砂浜が広がっている。階段の最後の段がかなり高くなっており、この海浜が侵食されていることがわかる。最後の階段のコンクリートの色から侵食は徐々に進んだものと推測できる。

この海岸護岸の一部が写真-1 に示すように修復工事がなされていた。これは台風0314号の高波による被災である。詳細については後で示すが、波浪推算によると、波高6m程度の波が来襲しており、wave set-upによる水位上昇が0.5m程度はあったと考えられる。また、高潮も0.5m程度はあったようであり、これらが満潮とも重なって、護岸の天端付近まで水位が上がったと推測で

きる。そして、波による越波で、道路が冠水したと考えられ、道路反対側のレストランの人もガラスの水槽が壊されたと言っており、越波した波がかなりの勢いで当たったと考えられる。護岸の破壊も波浪によるものであると推測され、この地域の被害は高潮によるというより波浪災害といえる。

(2) Suyeong における災害

a) ホテルの被害

Suyeong は、Songjeong-Dong から西に6km程度行った場所にあり、その付近は新たに開発されている地区であるが、この台風による災害で土地の価格が下落したとも聞いた。台風被害にあった、写真-2のホテルに行った。このホテルは海岸線近くにあり、ホテルの前が幅10m程度の道路で、この道路は護岸沿いに走っている。この護岸のパラペットに登り、西側を向いて取ったのが写真-3である。この写真でわかるように護岸の前側は天端までテトラポッドで被覆されている。

写真-2のホテルは現在建設中であるが、2階の窓まで波によって壊されたとのことである。護岸前面水深はそれほど深くなく、2~3m程度だと推測できる。また、護岸天端もそれほど高くなく、3m程度ではないかと思

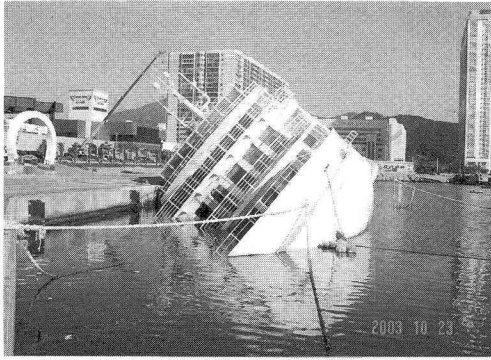


写真-4 フロテルの横転被害状況

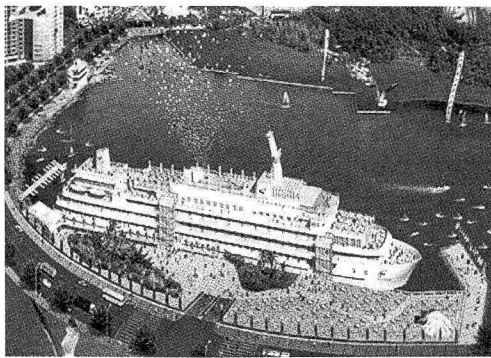


図-3 フロテル開業時の想像図

われる。既に述べたように、高潮と満潮が重なっており、そのときは高波浪時でもある。しかし、高潮が護岸天端を越えたとは考えられない。越波によって窓が壊されたとするのが妥当であろう。つまり、満潮と高潮ピークで護岸天端高は相対的に低くなっており、波が容易に越波できる状況にあり、波浪も高かった。

b) フロテルの横転

前述のホテル前の護岸は外洋に面しているが、一角を回って、Suyeong 湾に入ると、写真-4 に示すように岸壁に係留していた船が横転しているのが目に入った。この船は Floating Hotel を短縮して、フロテルと呼ばれていたそうである。このホテルは、一昨年に開業し、かなり繁盛していたようで、図-3 は開業時における祝賀の絵である。フロテルが湾内に係留され、前面に小さな防波堤が建設されていたことが分かる。

写真-4 でわかるように、沖側にブイ、岸壁にはピットを配置して、船はこれらのブイとピットとをロープを介して係留されていたと考えられる。船はホテルとして利用されていたために、波による動揺は極力抑えるように、緊張係留がなされていたと考えられる。ただし、係留の詳細については入手できなかった。

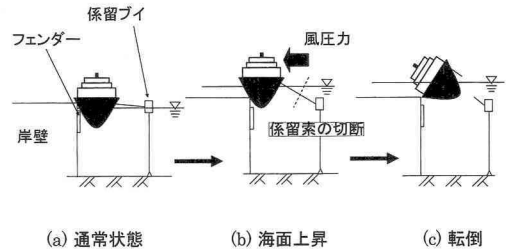


図-4 フロテル横転過程図

このような緊張係留状態において満潮による 1 m 程度の水位上昇と 0.5 m 程度の高潮、さらには碎波による数 10 cm の水位上昇が加わり、船は干潮状態から 2 m 近くも持ち上げられたと推定される。そして、このような船の状態に、さらに船体横側から強風が吹き、この風圧力によって船体と岸壁天端との接触点を中心にして大きなモーメントが作用し、これによって沖側の係留索が切れたと推測される。その結果、船は岸壁側に横転したと考えられる。このような船舶の横転の過程を示したのが図-4 である。

フロテルの横転にも拘らず人命が失われなかったのは不幸中の幸いである。しかし、フロテルの会社は既に倒産し、この船の撤去を誰が行うのか大きな問題となっているそうである。

(3) 釜山新港における災害

釜山においては、将来におけるコンテナ輸送におけるハブ港湾化を目指して、新港の建設が行われている。わが国においてもまだ数の少ない水深 15 m 以上の岸壁を 30 パースも建設する計画である。この新港建設に使用されている浚渫船が台風による強風と高波によって沈没したり(写真-5)、また、建設中の埋立地の護岸の被覆材の散乱などの被災が起きていた。このような災害は波浪による災害だと考えられ、高潮による災害であるとは考えられない。埋立地の一部で高潮による浸水があったとされているが、これが本当の高潮であったかどうか検討の余地がある。

写真-6 は、釜山新港への進入波を防ぐ防波堤の堤頭部における被災を示している。最先端のコンクリートブロックが傾いているが、これはブロック下のテトラポッドが散乱し、その結果傾いたもので、他の場所から運ばれてきたような古いテトラポッドが代わりに据えられていた。このような被害は、設計波相当の高波が来襲したことを示している。

4. 数値計算から見た高潮・高波

(1) 計算条件の設定

高潮や波浪を推算するためには、海上風を求めなくて



写真-5 釜山新港での没船沈没状況

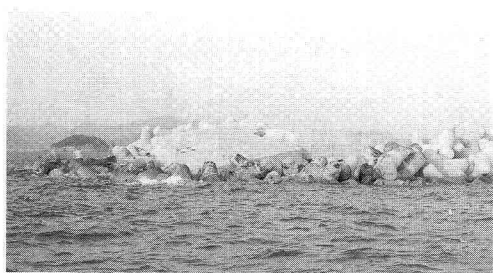


写真-6 防波堤堤頭部の被災状況

はならない。風を推算するためには、台風モデルを用いて、台風域内の気圧分布を推定しなければならない。そこで、日本の気象官署に加え、釜山、馬山、麗水、統営の観測気圧によって補正した台風定数から藤田モデルを用いて、台風域内の気圧分布を次式のように推定した。

$$p = p_{\infty} - \frac{\Delta p}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

なお、海上風への変換は、傾度風と場の風に乗ずる風速低減率を0.6として求めた。

計算領域は、日本全域から九州周辺、対馬周辺、韓国南部、釜山港と細分化した。それぞれの格子間隔は16200 m, 5400 m, 1800 m, 600 mおよび200 mである。

(2) 高 潮

a) 高潮モデルの概要

高潮計算は後藤(1988)が開発した非線形長波理論によるモデルを用いて、解析を行った。海面せん断応力項における海面の抵抗係数は本多・光易(1980)の C_D 則を用いた。

$$C_D = \begin{cases} (1 - 1.89 \times U_{10} \times 10^{-2}) \times 1.28 \times 10^{-3} & (U_{10} < 8.0 \text{ m/s}) \\ (1 - 1.078 \times U_{10} \times 10^{-1}) \times 5.81 \times 10^{-4} & (U_{10} < 8.0 \text{ m/s}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2)$$

空間差分はスタカード格子を用い、連続式の差分式は中央差分で離散化し、運動方程式の差分式では非線形

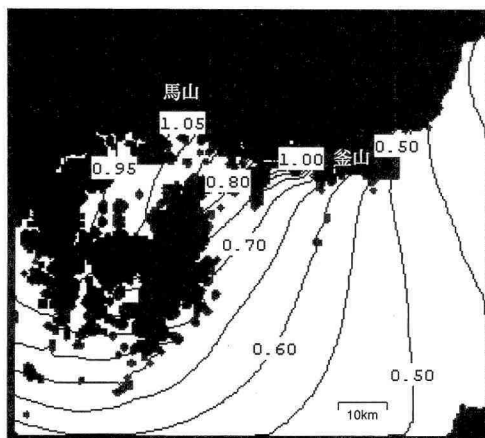


図-5 韓国南東部の最大水位平面分布

項に風上差分を用いて離散化した。時間差分にはリーブ・フロッグ法を用いた。

b) 計算結果

韓国南東部の最大水位平面分布を図-5に示す。外洋に面している釜山沿岸では、それほど大きな高潮は発生していないことがわかる。これからわかるように Songjeong-Dong および Suyeong 付近では、高潮偏差は0.5 m となった。これは台風が再接近した時の気圧が970 hPa 程度であったため、気圧低下による海面の静的な吸い上げ量が約40 cm であるため、釜山沿岸の高潮の主要因は吸い上げ効果によるものと判断できる。また、釜山港での高潮偏差の計算値と観測値の比較を図-6に示す。計算値と観測値はよく一致していることがわかる。潮位偏差は最大で70 cm 程度あり、高潮はそれほど大きくはないが、図-7から分かるように満潮時において高潮のピークが発生しており、水位は高潮を含めて2 m 以上となって、かなり増大していた。

台風0314号によって釜山沿岸部に生じた高潮は60 cm から70 cm ほどで、それほど大きなものではなかったが、満潮と重なったために水位が異常に高くなったも

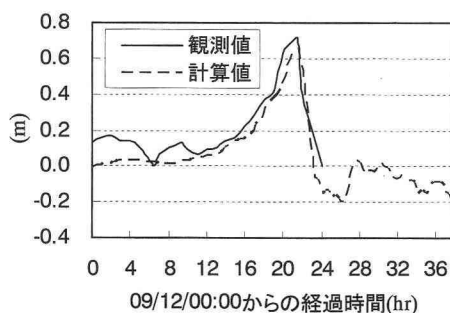


図-6 釜山港における高潮偏差の経時変化

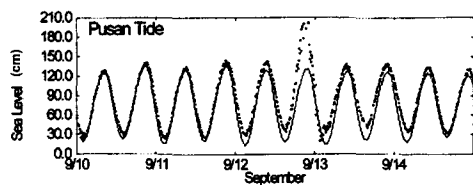


図-7 釜山港における検潮記録

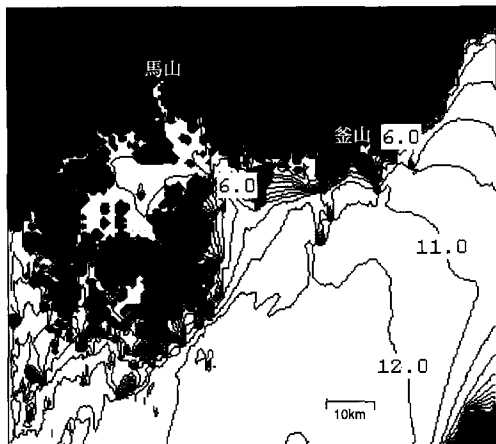


図-8 韓国南東部における最盛期での波高分布図

のと考えられる。

(3) 高 波

a) 波浪推算の概要

波浪推算は Delft University of Technology によって開発された SWAN Cycle III ver. 40.31 (Booij ら, 1999) を用いて解析を行った。発達機構は Komen 理論を用い、砕波機構、底面摩擦機構、3 波共鳴機構を考慮した。

b) 計算結果

韓国南東部における 9 月 12 日 21 時最盛での波高分布を図-8 に示す。波浪は南から北東に向けて来襲しており、Songjeong-Dong および Suyeong 付近では、波高 6 m もの波が来襲している。このため、浅海部では砕波によって高潮と同程度の水位上昇があったと考えられる。

釜山新港における波浪に関する計算値と観測値との比較を図-9 に示す。計算値は最大で 6 m と観測値の最大の 7 m よりも少し小さい。これは SWAN は反射波および回折が考慮されていないため、過小評価していると考

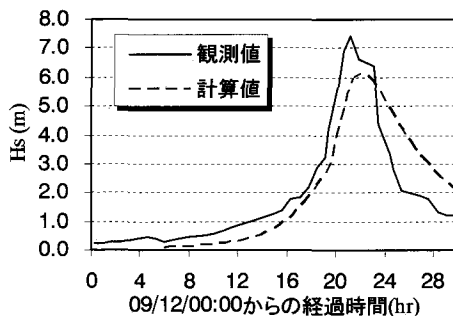


図-9 釜山新港における波高の経時変化

えられる。

5. おわりに

本報告は、台風 0314 号による釜山沿岸部の現地調査の結果を示し、数値計算により釜山の災害は高潮災害ではなく、高波災害であることを明らかにした。

以下に主要な結論を示す。

- ①台風 0314 号によって釜山沿岸部に生じた高潮は 60 cm から 70 cm ほどで、それほど大きなものではなかったが、満潮に近かったために水位は異常に高くなったものと考えられる。
- ②来襲波浪は 6 m 以上にもなったために、浅海部では砕波によって高潮と同程度の wave set-up があつたと推定される。
- ③釜山沿岸部の災害は、満潮と高潮が重なり、高波浪の来襲によって砕波による wave set-up でさらに水位が上昇し、護岸には大きな波が作用し、それによる波力や越波によって災害が生じたと考えられる。

最後に、韓国内での調査に当って同行していただいた Gyeongju 大学 Kweon Hyuck-Min 助教授と Donghae 大学 Kim In-Ho 教授に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 後藤智明 (1988): 波浪・津波・高潮の数値シミュレーション手法について, 港湾技術研究所講演会講演集, pp. 86.
- 本多忠夫・光易 恒 (1980): 水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究, 第 27 回海講論文集, pp. 90-93.
- Booij, N. R., R. C. Ris and L. H. Holthuijsen (1999): A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. C 4, pp. 7649-7666.