

台風 0314 号 (Maemi) による韓国の高潮・高波災害の特徴

高山知司・雨森洋司*・金 泰民**

間瀬 肇・姜 閔求***・河合弘泰****

*京都大学大学院工学研究科

**京都大学防災研究所研究員

***三星物産(株)建設部門技術研究所

**** (独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工部

要 旨

台風 0314 号は、2003 年 9 月 12 日の夕方に中心気圧 950hPa 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。その後、釜山から約 50km 西側の馬山で高潮による浸水で死者が出たとの報告が変わった。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と馬山の台風災害について現地調査をした。本報告は、この現地調査から得られた災害の特徴を明らかにするとともに、このような災害を起こした高潮と高波の再現を試みた。その結果、馬山における災害は典型的な高潮災害であるが、釜山の災害は高潮災害といえず、高波災害の様相を呈していることがわかった。また、釜山における高波と高潮は比較的高い精度で再現することができたが、馬山の高潮については計算値が検潮記録の値より 1m 近く小さくなった。この原因については今後検討が必要である。

キーワード：韓国，釜山，馬山，高潮，高波，災害，現地調査

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々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。

そのうち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 富田孝史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、かなりの浸水災害が起きていた。また、釜山市から 50km 位西側に位置する馬山市では多くの人が高潮

による浸水で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、平成 15 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もらった。日本側の参加者は、高山と間瀬、金の 3 人である。

調査は、韓国に到着したその日は釜山新港を建設している現場に行き、現地を視察した。そして、次の日の午前中は釜山市内の越波災害や船舶ホテルの被災現場を調査した後、馬山に向かい、馬山港や高

潮による死者が発生した現場を調査した。

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数値計算によって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

2.1 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、NW 方向に進行し、9 月 11 日の沖縄宮古島付近から NNE 方向に向きを変えて、韓国を直撃し、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 Fig.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 910hPa となって、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 950hPa で、最大風速が 40m/s であった。そして、9 月 13 日 3:00 に Uljin の北 30km の地点から日本海に抜けていった。そのときの気圧は 970hPa で、最大風速は 31m/s であった。

このように、台風 0314 号は SSW 方向から韓国に近づき、方向を変化することなく、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 SE 方向から S、SSW 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。

2.2 過去の台風との比較

台風 0314 号は、宮古島付近では 910hPa 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 950hPa 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がない。

この台風とほぼ同じような経路を通して韓国に來襲した台風がある (Choi et al., 2003)。この台風は 5914 号で、韓国では Sarah と呼ばれている。この台風のコースを Fig.2 に示す。この台風は台湾の北東の海上で最低の中心気圧が 905hPa で、朝鮮半島をかすめたときが 945hPa で台風 0314 号より 5hPa だけ気圧深度が深く、台風規模としては今回の台風 0314 号より大きいといえる。しかし、Fig.2 でわかるよう

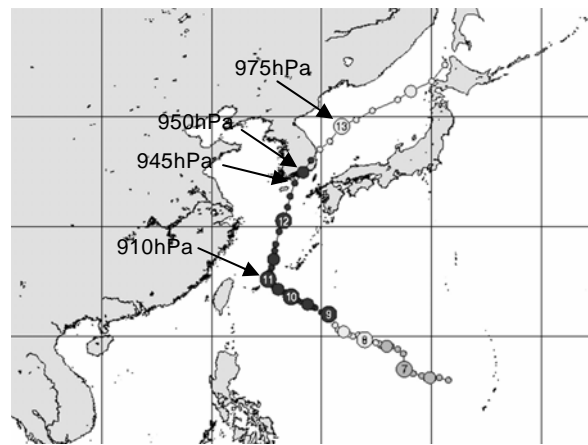


Fig.1 Track of Typhoon 0314

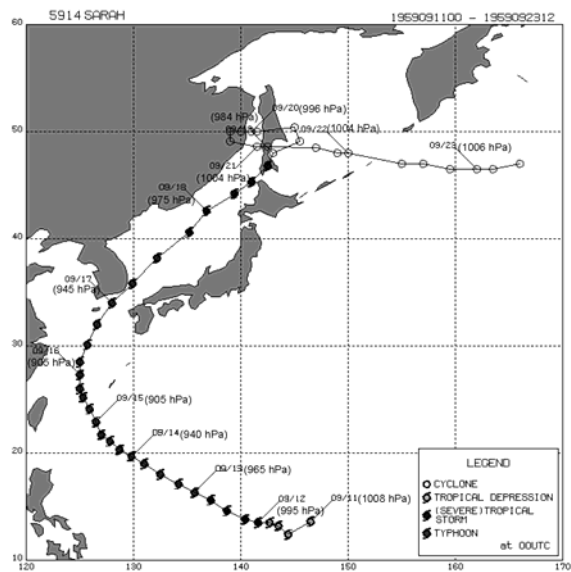


Fig.2 Track of Typhoon 5914

に台風 5914 号は朝鮮半島をかすめて通っており、釜山や馬山は台風中心より西側になり、気圧低下による吸い上げで水位が少し高くなったと考えられるが、風向きが陸方向からになり高潮の発生はほとんどなかったと考えられる。

これに対して、台風 0314 号は、馬山の西を通って日本海に抜けており、馬山と釜山が台風中心より東側に位置していたことが、高潮を増大させたといえる。このように釜山や馬山の高潮を考えるときに、台風の経路が大きく影響することがわかる。そのため台風規模が大きくても、台風経路によっては高潮はほとんど起きない。

3. 釜山における高潮・高波災害

3.1 Songjeong-Dong における災害

Songjeong-Dong は、Fig.3 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だとのことである。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 Photo.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る。このことから、この地域の被害は高潮によるというよりも、波浪による災害といえる。

3.2 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、Photo.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、西側を向いて撮ったのが Photo.3 である。この写真でわかるように護岸の前面はほぼ天端までテトラポッドで被覆されている。

Photo.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、満潮と高潮ピークが重なり、護岸天端高は相対的に低くなって、波が容易に越波する状況にあ



Fig.3 Map around Busan



Photo.1 Sandy beach at Songjeong-Dong



Photo.2 Damaged hotel at Suyeong

り、波浪も高かったと考えられる。

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、Photo.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、Fig.4 は開

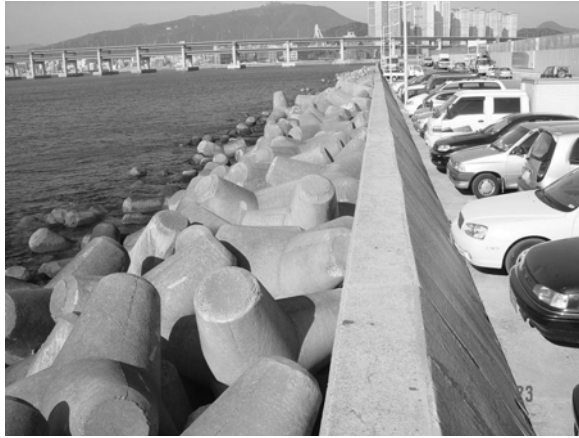


Photo.3 Sea wall at Suyeong



Photo.4 Damage of the floating hotel

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わかる。

Photo.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推定されるが、残念ながら係留状況の詳細については入手できなかった。

このような緊張係留状態において満潮による 1m 程度の水位上昇と 0.5m 程度の高潮、さらには砕波による数 10cm の水位上昇が加わり、船は干潮状態から 2m 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ようである。このような船舶の横転の過程を示したのが Fig.5 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が大きな問題となっているようである。

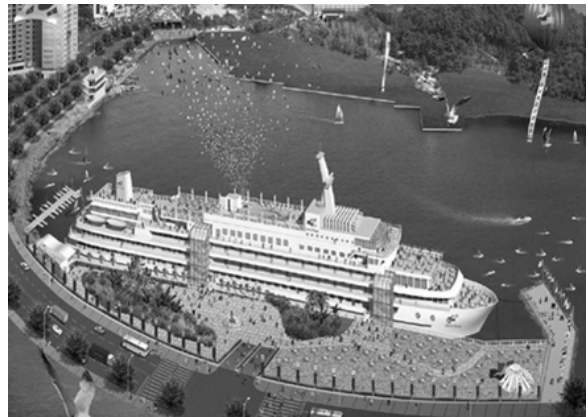


Fig.4 Idealized picture at the opening of the floating hotel

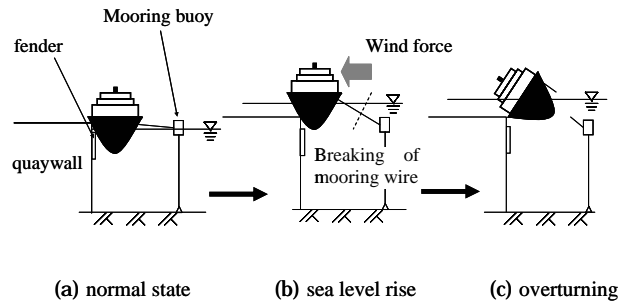


Fig.5 Overturning failure process of the floating hotel

3.3 釜山新港における災害

釜山においては、将来の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。釜山新港の位置は後述の Fig.6 に示している。わが国においてもまだ数の少ない水深 15m 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ていた (Photo.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は検討の余地がある。

Photo.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



Photo.5 Sunk dredger at Busan New Port



Photo.6 Breakwater damage at the tip

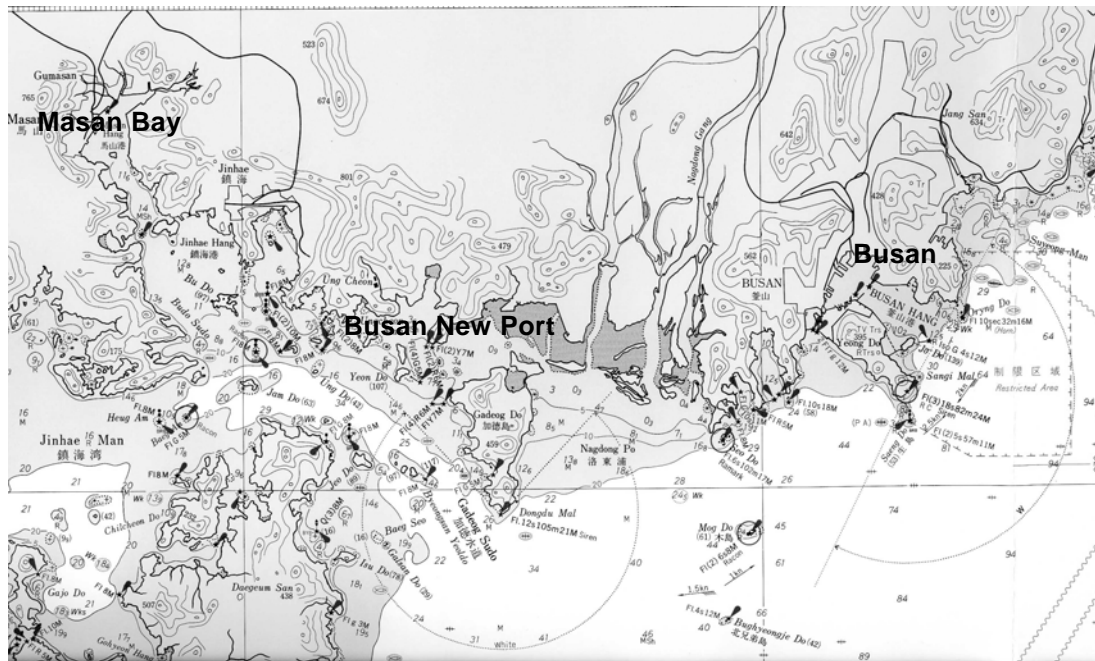


Fig.6 Location of Masan Bay, Busan New Port and Busan

代わりに据えられていた。このような被害は、設計波相当以上の高波が来襲したことを示している。

湾奥には馬山市の市街地が広がっており、馬山湾は天然の良好として、埋め立てによって港湾が湾奥沿岸部に建設されている。

4. 馬山における高潮災害

4.1 馬山湾の地形

馬山湾は、Fig.6 に示すように釜山の西方約 50km の場所に位置し、外洋からは加徳水道を通して進入してくることになる。加徳水道から馬山湾口部まで約 25km あるが、周りには島が点在しており、外洋からの波の進入は大きいとは考えられないし、この区間での波浪の発生・発達も小さいと考えられる。そして、馬山湾は幅 2.5km で、長さが約 8km の細長い湾で、湾口部は SSE 方向に向いている。また、湾口部には半島が突き出しており、湾口部はさらに狭くなっている。そのために湾外からの波浪の進入はほとんどないと考えられる。湾内の平均水深は 10m 程度である。

4.2 馬山湾における高潮の特徴

Fig.7 は馬山湾奥の検潮所で観測された潮位記録から潮位偏差の時間変化とそのときと天文潮の推定値を示したものである。潮位偏差は実線で、また、推定天文潮は破線で示している。潮位偏差は、観測水位から推定される天文潮位を差し引いた高潮の大きさを示す値である。天文潮位と潮位偏差を加え合わせた値が実際の水位となる。図の横軸は、2003 年 9 月 12 日 0:00 からの 2 時間毎の値を示している。

この図でわかるように高潮が最大となる時刻と天文潮の満潮時刻がほぼ重なり、9 月 12 日 21:50 頃に 4.5m の最大水位となっている。潮位偏差の最大は 2.5m である。潮位偏差の記録には細かい水面振動と約 1 時間程度の長周期の振動が含まれている。

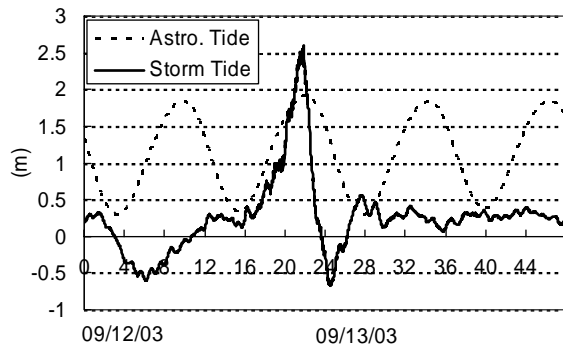


Fig.7 Astronomical tide and storm tide at Masan

細かい水面振動について詳細に調べるために水位のピーク付近における観測水位を拡大して調べてみたのが Fig.8 である。この図から周期が数分程度の振動と 10 分程度の振動が重なり合っているのがわかる。検潮記録は 1 分毎の値であるから数分程度の振動はもっと短い振動であったかもしれない。この数分程度の振動は、もっと細かい振動で、Photo.7 に示す検潮所の窓ガラスや渡り梯子が波浪によって壊されていたとのことであるから、検潮井戸の中に海水が入り込んで井戸の中の水面が振動したことによって生じたものではないかと推測される。周期 10 分程度の振動は、馬山湾の横断方向の固有周期を考えると、8 分程度となり、湾の横断方向の固有振動によって生じたと考えられる。しかし、これらの振動振幅は最大でも 10cm 程度である。そこで、移動平均によって細かい振動を取り除くと、最大水位は 10cm 程度低下して、約 4.4m になった。

さらに、1 時間に近い長周期振動については、上述の湾横断方向の振動よりかなり長く、湾縦断方向の振動ではないかと推測される。そこで、縦断方向の固有振動を湾の長さや平均水深から概算すると、約 50 分であり、観測値に近い。このことから観測水位に現れる周期 1 時間程度の振動は湾の縦断方向の固有振動であると推測される。しかし、このような振動が励起するためには外力としてこのような周期の振動が作用しなければならないが、このような周期の外力が生じる原因についてはよく判らなかった。この振動振幅も約 10cm と、高潮の大きさと比較すると 1/20 であり、高潮の主原因ではない。

馬山における異常な水位は高潮と満潮とが重なったことによって生じたものであり、横断方向や縦断方向の固有振動の影響は小さいといえる。

4.3 馬山における高潮災害

前述のように馬山湾奥では満潮位と高潮のピークとが重なったために、非常に大きな高潮災害が生じ

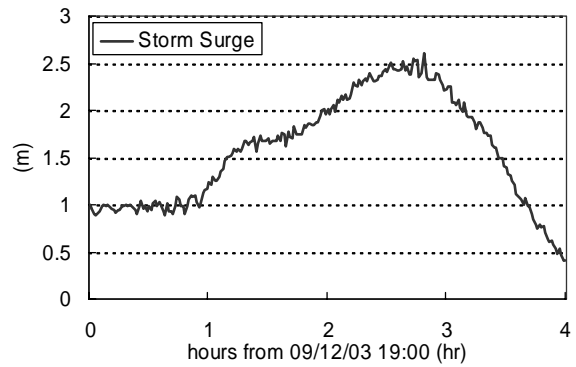


Fig.8 Water surface motion with short period around highest storm surge

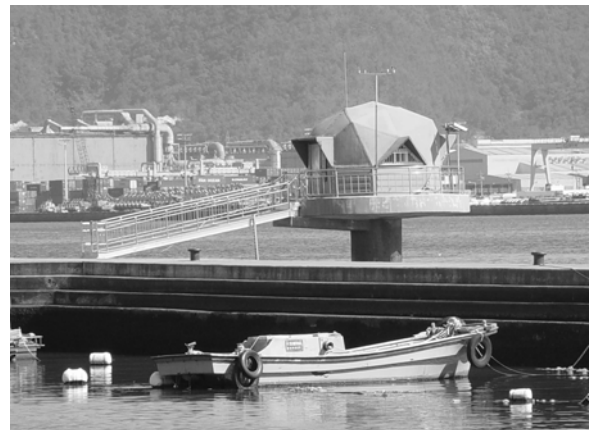


Photo.7 Tide observatory

た。馬山湾は天然の良好で、大きな波の来襲はないため、満潮位上の岸壁の天端はそれほど高くなく、0.9m 程度と推定される。そのために岸壁上 1.6m 程度まで水位が上昇したと考えられる。この水位に波が作用するために、実際の波の到達位置はさらになくなったと推定できる。

Photo.8 は馬山湾の航空写真を示している。この写真上に、今回の現地調査で調べた地点名を記入している。前述の検潮所は湾奥近くの西側の小船溜りのところにある。ソハン埠頭からスパランド、海雲(ヘウン)プラザにかけて水位の痕跡を測定したのが Fig.9 である。Fig.9 は、港湾空港技術研究所(安田ら、2004)が現地調査で得た陸上部における水位の分布である。岸壁を越えた水位(1.4~1.6m)をそのまま保って市街地に侵入していることがわかる。しかし、市街地の奥では水位は 0.2~0.4m 低下している。この辺りの市街地はほぼ平坦で、500m 程度水際線から離れてから山側に向かって僅かに勾配がついている。

Photo.9 に示すような小船溜りに係留していた小船は、Photo.10 に示す建物の向こう側まで流されたと聞いた。係留している小船が流されて、建物等を

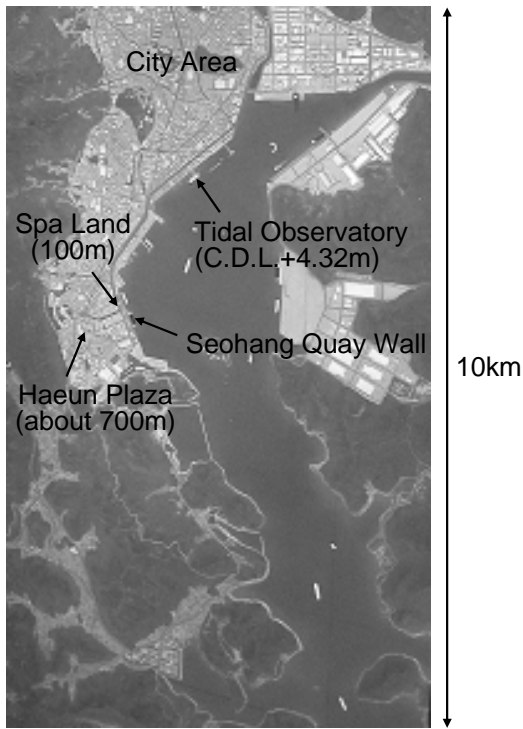


Photo.8 Masan Bay and investigated places

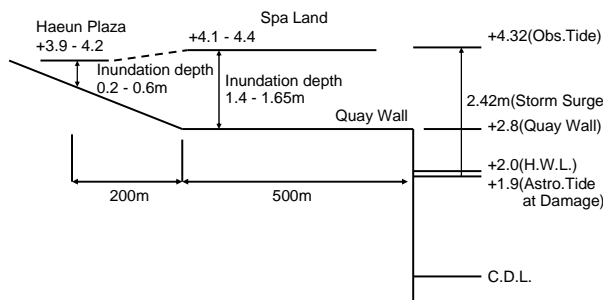


Fig.9 Flood depth on land

壊すことはよくある．この小船溜りとは道路を挟んで反対側の食堂では Photo.11 に示す窓の上側のレンガの壁まで水がきて、窓ガラスは壊れたとのことである．ここまで水位が上がってきたとすると、2m 以上の水位になるが、Fig.9 に示すように浸水深は 1.4~1.6m であるから、この水位には波浪による打ち上げ高さが含まれているものと考えられる．

ソハン埠頭から約 100m 市街地に入った所にスパランドの建物があり、その地下 2 階で 2 名の方が溺死している．この建物の構造を示したのが Fig.10 である．Photo.12 に示すように、玄関の入口は階段で上がるような構造で、道路より 1m 程度高くなっている．そして、地下 1 階は駐車場、地下 2 階がカラオケバーになっていた．地下 1 階に駐車場が設けられたのは、地下 1 階が自動車に対する利便性がよいためであろう．建物玄関は高くなっているために進入した大潮は 1 階の床上 40cm 程度あったと思われるが、



Photo.9 A harbor for small boats



Photo.10 Arrival place of drifted boats



Photo.11 Run-up of sea level

路上から地下 1 階の駐車場への入口では 1.4m 以上の水位があったと思われる．現地でのヒヤリングでも、自動車に乗って逃げようとした人がいたが、自動車は入口のスロープから流入する流れのために登ることができなく、自動車を放置して逃げたことである．この駐車場への入口からかなりの水量が

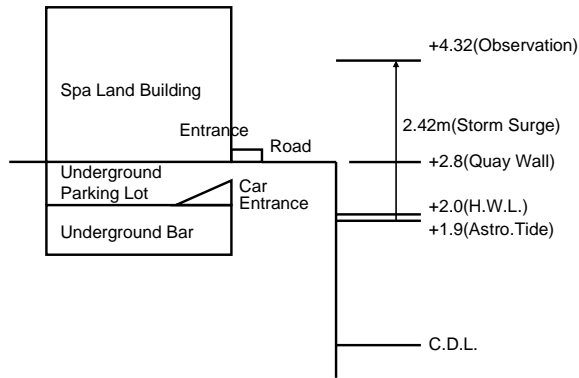


Fig.10 Structure of Spa Land building



Photo.13 Haeun Plaza building



Photo.12 Entrance of Spa Land building



Photo.14 Entrance to underground car parking of Haeun Plaza

流入し、駐車場下の地下2階は短い時間で一杯になり、ほとんど人は逃げられなかったと思われる。

さらに、海岸線から700m入ったところに海雲プラザがある。ここでは、12名の方が地下2および3階で溺死した。海雲プラザはPhoto.13に示すロッテリアと書かれた建物で、玄関は路面より40cm程度高くなっており、海水はほぼこの高さまで上がってきたとのことであった。1階のフロアと海水面とがほぼ同じであるので、地下には水はそれほど流れ込まないと考えられたが、この建物の横の路地へ行くと、Photo.14に示すようにこの建物の地下1階の駐車場への入口が存在し、ここから大量の水が流入したと考えられる。この建物構造を示したのがFig.11である。この図でわかるように、地下1階に流れ込んだ水は瞬間に階段を通過して地下2階、3階へと流れ込んだと想像できる。

前述のスパランドでもそうであったが、利便性を考えて地下1階に駐車場を設置している。道路から入った自動車は短いアプローチで駐車でき、そこから人はさらに地下あるいは地上へと容易に移動できる。地下1階に駐車場を設けるとこのように便利であるが、浸水災害に対しては無防備である。駐車場

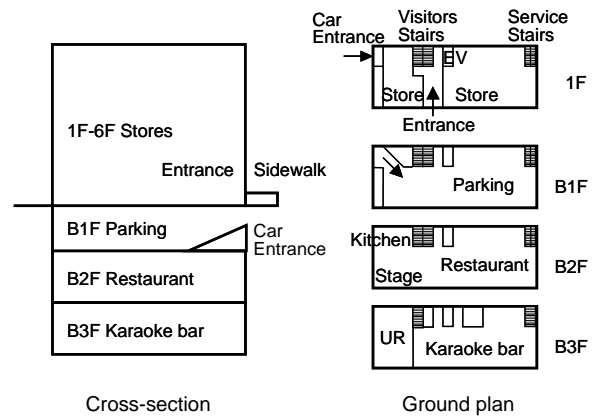


Fig.11 Structure of Haeun Plaza building

入口のためそこには段差を設けることはできず、また流れ込んだ水は駐車場を通過して、人が集まる下の娯楽施設空間へと流れ落ちる。このことから今回の人的災害は建物の構造的な欠陥によるといえる。氾濫災害が予測される場所では、駐車場は最下層に設ける必要がある。

海雲プラザでの現地調査のときに、非常に多くの木材が流れてきて、人々の避難に支障が生じたとの

話を聞いた。また、その木材はソハン埠頭から流れてきたとのことであった。そこで、Photo.8 に示したソハン埠頭に向かった。Photo.15 はソハン埠頭の岸壁を示している。私達が行ったときには1隻の貨物船が係留していた。埠頭の上には木材のくずが散乱していた。岸壁とは反対側を見ると、Photo.16 のように僅かな木材が野積されていたが、埠頭の広さから判断すると高潮発生当時はかなりの量の木材が積まれていたと思われる。付近の住民の話では、現在この埠頭は木材埠頭としては使われておらず、木材は馬山湾の対岸の埠頭で荷役されているとのことであった。この岸壁が木材の荷役に使われ、埠頭上に貯木していたのは加工工場に近く運送が便利であったためと考えられる。高潮以降、対岸で木材は荷役されるようになっているが、将来、再度この埠頭で木材が荷役するようになるのではないかと危惧がある。

5. 数値計算から見た高潮・高波

5.1 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はならない。風の推算には、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次式の藤田モデルを用いて、台風域内の気圧分布を推定した。

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

ここに、 p と p_{∞} 、 Δp はそれぞれ台風中心から r の地点での気圧と台風中心から十分離れた地点での気圧、台風中心での気圧深度、また、 r_0 は風速が最大となる台風中心からの距離である。気圧勾配と遠心力、コリオリ力との釣り合い式から傾度風 V_{gr} が次式で求まる。

$$V_{gr} = r \left(\sqrt{\frac{f^2}{4} + \frac{\Delta p}{\rho_a r_0^2} \left\{ 1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \right\}^{-3/2}} - \frac{f}{2} \right) \quad (2)$$

ここに、 f と ρ_a はコリオリ係数と空気の密度である。また、台風の移動に伴う場の風 V_i は次式で与えられる。

$$V_i = V \exp\left(-\frac{\pi r}{l}\right) \quad (3)$$

ここに、 V は台風の移動速度で、 l は 500km である。



Photo.15 Seohang Quay Wall



Photo.16 Timber storage yard at Seohang

海面上 10m の地点の海上風への変換は、傾度風が等気圧線に対して 30 度中心に傾いて吹くことを考慮するとともに、海面における摩擦によって場の風と傾度風が低減としている。そして、場の風と傾度風の低減係数を C とすると、両係数とも 0.6~0.7 の値が用いられている。

風の計算領域は、日本全域から九州周辺、対馬周辺、韓国南部、釜山港へと細分化した。日本全域の最大格子間隔は 16200m である。この格子間隔を各領域毎に 1/3 ずつ縮小していき、最小格子間隔を 200m とした。

5.2 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。

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

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・フログ法を用いた。

b) 計算結果

韓国南東部の最大水位上昇量の平面分布を Fig.12 に示す。この計算は風の低減係数 C の値として 0.6 を用いた。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 0.5m となった。台風が最接近した時の気圧が 970hPa 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 40cm で、吹き寄せによる海面上昇は 10cm となる。このことから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 Fig.13 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 70cm 程度あり、高潮はそれほど大きくはないが、前述の Fig.7 に示した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 2m 以上となって、かなり増大したと考えられる。

台風 0314 号によって釜山沿岸部に生じた高潮は 60cm から 70cm 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のと考えられる。

Fig.12 に示したように、馬山での高潮は 1.05m 程度にしかっていない。Fig.9 に示したように馬山では高潮によって 2.5~2.6m の水位上昇があったことを考えると、計算値は非常に小さい。そこで、風速を大きくするために低減係数を 0.7 にして計算した結果と実測値との比較を Fig.14 に示す。図中には低減係数を 0.6 にした場合の高潮の変化も示している。ただし、釜山沿岸では、風速の低減係数を 0.7 にして計算しても、吸い上げによる効果が大きく、吹き寄せによる効果は小さいので、高潮の大きな変化はない。Fig.14 に示すように、風の低減係数を 0.7 にすることによって、馬山では約 0.3m 上昇したがそれでもまだ 1.2~1.3m ほど計算値は小さかった。前述したように検潮井戸の中に海水が流れ込んだことや計算では表すことができない湾横断方向と縦断方向の振動を考慮しても、まだ、1m 程度実測値が大きい。この原因の究明は今後の課題である。

Fig.15 は、計算で求めた馬山湾における高潮の平面分布を示している。この図でわかるように、馬山湾の最湾奥で大きな高潮になったのではなく、湾奥ではあるが、湾の西側で大きくなっている。この湾の西側は丁度ソハン埠頭が存在する地点であり、多

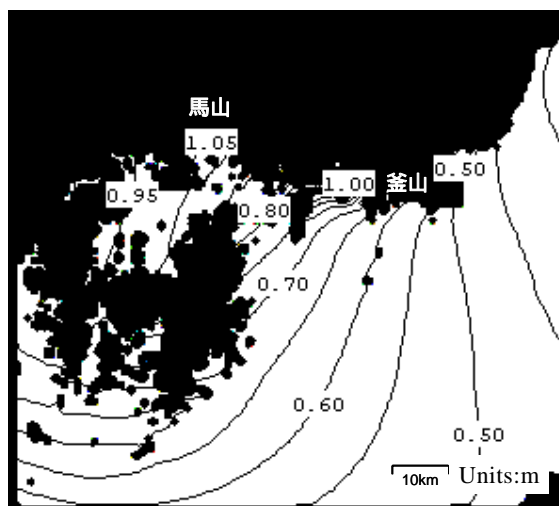


Fig.12 Maximum storm tide around Busan

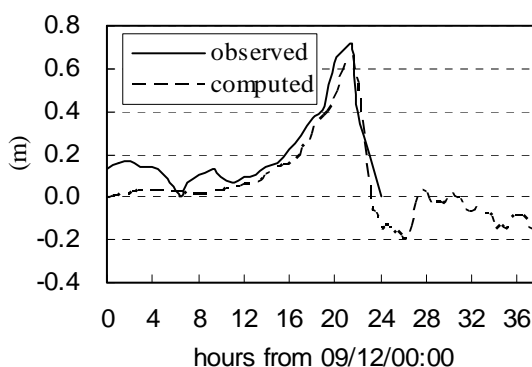


Fig.13 Time history of storm tide at Busan Port

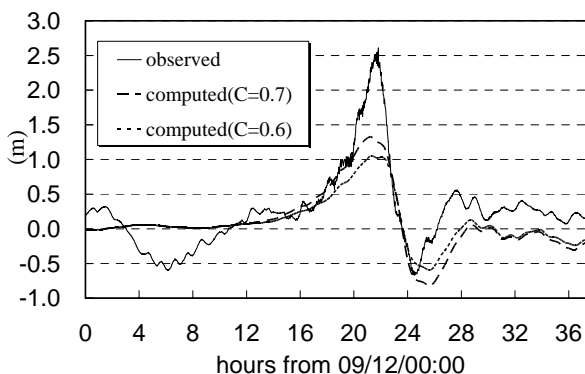


Fig.14 Time history of storm tide at Masan Bay

くの人が溺死した地域に対応している。馬山湾の西側で大きな高潮になり、東側で小さくなる原因であるが、最大の原因は Fig.15 に示すように高潮の最盛期は風が SW の向きであったことである。これに加えて、東側では水深が深く、西側では水深が浅いことが西側の水位をさらに高くしていると考えられる。西側の水域は、5~7m の海域が広がっているが、東側は水深が 11m 以上の海域となっている。一般に、高潮は水深が浅いほど、またその海域が広いほど大

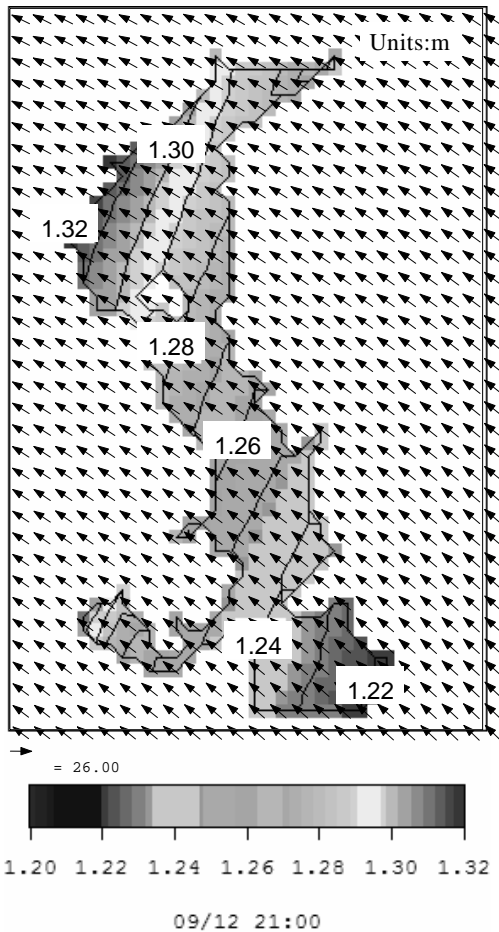


Fig.15 Distribution of max. storm tide and wind direction

きくなることは理論的にも明らかになっており、これも西側の高潮を高くした原因である。

5.3 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 et al., 1999) を用いて解析を行った。この波浪推算モデルは、浅海域での波の発達も計算できるようにしたモデルで、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ている。

b) 計算結果

韓国南東部における9月12日21時の波高分布を Fig.16 に示す。この時刻が波浪の最盛時に対応している。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 6m 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。そして、高潮の最盛期は満潮と重なっており、Songjeong-Dong および Suyeong 付近での災害は、高

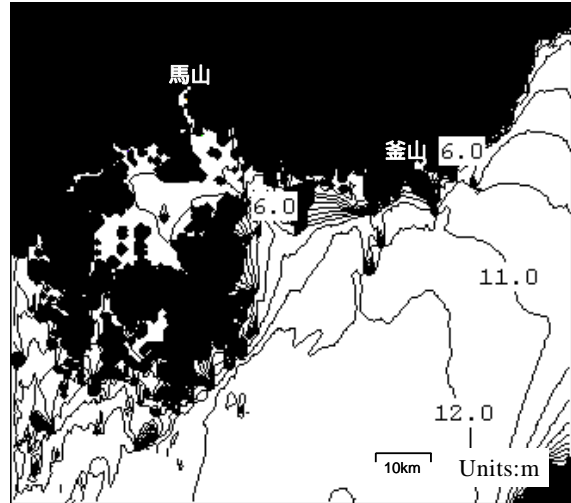


Fig.16 Distribution of max. wave around Busan

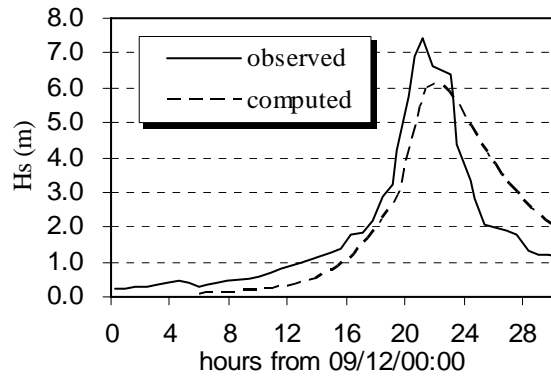


Fig.17 Time history of wave height at Busan New Port

潮と高波浪、満潮が重なったためと推測できる。

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 Fig.17 に示す。計算値は、観測値と同じような速度で増大しているが、計算の最大値は 6m と、観測値の 7m よりも 1m 小さい。波高ピーク後の低減については、観測値は急激であるが、計算値は比較的ゆっくり変動している。このような計算値と観測値の差は、SWAN では反射および回折が考慮されていないために生じたと考えられる。

6. おわりに

本報告は、台風 0314 号による釜山沿岸部と馬山湾の現地調査の結果を示すとともに、数値計算によってこれらの災害を起こした高潮と高波の再現を試みたものである。

以下に本研究で得られた主要な結論を示す。

1) 台風 0314 号によって釜山沿岸部に生じた高潮は

60cm から 70cm 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 6m 以上にもなったために、浅海部では碎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碎波による 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。
- 4) 馬山では SW 方向の強い風によって起こされた高潮が 2.5m にも達し、満潮位と重なって異常な水位上昇が発生した。
- 5) 高潮による死者の多くは地下 2 階あるいは 3 階における溺死であり、地下 1 階に駐車場を設けたことが災害を助長している。
- 6) 陸上貯木していた木材が流出し、住民の避難を困難にしたとの報告があつた。現状では貯木場を対岸に移しているが、貯木している木材に対する対策を検討しておく必要がある。

韓国におけるこの高潮災害では都市水害の典型的な特徴を示している。特に、地下空間における溺死

や貯木材の流出などは、わが国にも共通する課題である。今後の検討が望まれる。

最後に、韓国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): 水面に及ぼす風的作用に関する実験的研究, 第 27 回海講論文集, pp.90-93.

安田誠宏・平石哲也・河合弘泰・永瀬恭一(2004): 韓国南部馬山市における高潮浸水被害現地調査と地下浸水解析, 海岸工学論文集, 第 51 巻(印刷中)。

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. C4, pp. 7649-7666.

Choi, B.H., H.M. Eum and S.B. Woo(2003): Modeling of coupled tide-waves, surge process in the Yellow Sea, Ocean Eng. 30, pp.739-759.

Characteristics of Storm Surge and Wave Disasters Caused by Typhoon 0314 (Maemi) in Korea

Tomotsuka Takayama , Hiroshi Amamori* , Tae-Min Kim**
Hajime Mase , Yoon-Koo Kang*** and Hiroyasu Kawai****

*Graduate School of Eng., Kyoto Univ.

**Researcher, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.

***Res. Inst. of Tech., Samsung Eng. & Const.

****Marine Environ. and Eng. Dept., Port and Airport Res. Inst.

Synopsis

Typhoon 0314 with the central atmospheric pressure of 950hPa landed on the west side of Masan in the evening on Sep.12 in 2003 and passed across the Korean Peninsula to Japan Sea in the early morning on Sep.13. At first it was broadcasted that Busan was damaged by a large storm surge. After that it was reported that many persons were killed in Masan by the storm surge. Three of the authors were dispatched to Korea to investigate the damages due to the storm surge and they made field investigation in Busan and Masan for two days of Oct.22 and 23 with two Korean professors. This paper describes the damage characteristics obtained from the field investigations and numerical reproducibility of the storm surge and waves. It was revealed that the damages in Busan were caused by the storm waves but not by the storm surge, and the disaster in Masan was typically caused by the storm surge. The numerical simulation concludes that the storm surge and waves in Busan can be numerically reproduced with high accuracy, but the numerical storm surge is about 1m smaller than the observed one in Masan. The causes of discrepancy between the numerical and observed storm surges could not be found out.

Keywords: Korea, Busan, Masan, storm surge, storm waves, disaster, field investigation