海岸工学論文集，第 51 巻（2004）
土木学会，1361-1365

台風 0314 号による大韓民国馬山湾の高潮追算と現地調査

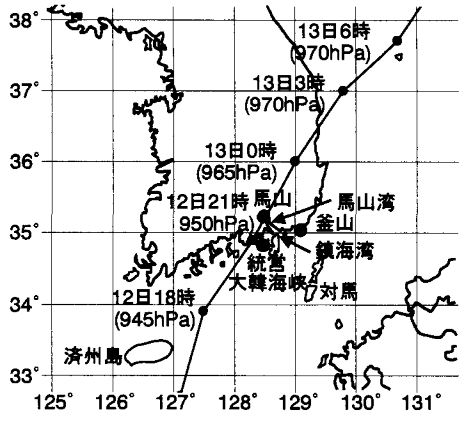
河合弘泰*・富田孝史**・平石哲也***
金　度三****・姜　閏求*****

大韓民国の馬山市では，台風 0314 号の高潮によって岸壁から約 700 m にわたる市街地が浸水した．馬山湾の検潮所では約 2.3 m の高潮偏差が観測されたが，検潮施設の一部が損傷した．そこで，この高潮の特性を明らかにするために，馬山湾沿岸において，浸水時の状況を住民等からヒアリングするとともに，浸水の痕跡高や建物の損傷状況を調べた．また，Janssen による波齢を考慮した海面抵抗係数を用いて，馬山湾の高潮を追算した．その結果，検潮記録，浸水の痕跡，数値計算による高潮偏差は概ね一致し，馬山湾では検潮記録が示すように 2 m を超える高潮偏差が生じていたことが明らかになった．

1. はじめに

台風 0314 号（Maemi）は宮古島を通過した後，図—1 に示すように，9 月 12 日夜遅くに韓国南岸へ上陸した．その時刻が大潮の満潮とほぼ重なったために，甚大な高潮・高波災害が発生した．特に馬山市の沿岸では，わずか数十分のうちに高潮によって岸壁から約 700 m にわたる市街地が浸水し，店舗やアパートの地下では溺死者が出た（例えば，後藤・李，2004）．韓国南岸でこのような大規模な海岸災害が発生したのは 1959 年の宮古島台風（Sarah）以来のことであるが，宮古島台風は大韓海峡（対馬海峡西水道）を抜けるコースをとったため，高波浪は生じたものの顕著な高潮は起きなかった．なお，伊勢湾台風による高潮災害が日本で発生したのは，その 10 日ほど後である．

さて，馬山湾における今後の高潮防災を考えるためには，まずその外力である，台風 0314 号時の高潮の特性を明らかにする必要がある．馬山湾には検潮所が 1 カ所あり，約 2.3 m の高潮偏差を記録した．ところが，検潮施設の窓ガラスが割れるなど損傷もあり，その検潮記録にはやや不確かな部分もある．また，馬山湾では波浪の定常観測が行われていない．そこで本研究では，浸水の痕跡高や建物の損傷状況について現地調査を行うとともに，数値計算モデルによって高潮を追算した．



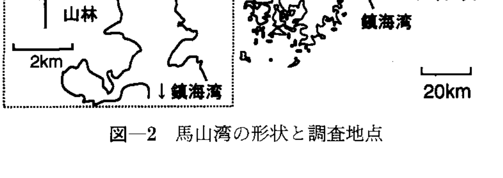
図—1　台風 0314 号のコース

2. 高潮による浸水の現地調査

（1） 現地調査の範囲

図—2 は鎮海湾および馬山湾周辺の地形を示す．鎮海湾は，大韓海峡に面した，東西に約 40 km，南北に約 30 km の内湾であり，湾口部の水深は 25 m 以上ある．その規模は日本の三大湾の半分程度であるが，小島が多く海岸線も非常に入り組んでいる．また，その周辺には標高 200〜500 m 程度の山々が連なっている．馬山湾は鎮海湾の北部に位置する，南北に約 10 km，東西に約 2 km の細長い内湾であり，水深は 4〜10 m である．

本研究では，9 月 19 日〜9 月 21 日に釜山から馬山に至る被災概況を調査するとともに，10 月 31 日〜11 月 1 日に馬山に絞った追加調査を実施した．調査の対象地点は図—2 の①〜③であり，検潮所は②の近くにある．これらの地点では，浸水時の状況を住民等からヒアリングす



図—2　馬山湾の形状と調査地点

* 正会員　工修　（独法）港湾空港技術研究所海洋・水工部主任研究官
** 正会員　工博　（独法）港湾空港技術研究所海洋・水工部高潮津波研究室長
*** 正会員　工博　（独法）港湾空港技術研究所海洋・水工部波浪研究室長
****　工博　韓國海洋大學校工科大學副教授　土木・環境システム工學部
***** 正会員　工博　三星物産建設部門技術本部技術研究チーム次長

るとともに，建物の損傷状況などを調べた．また，岸壁の天端高や後背地の地盤高，浸水の痕跡高や証言による浸水位をレベル測量した．

（2）　河口（地点①）の周辺

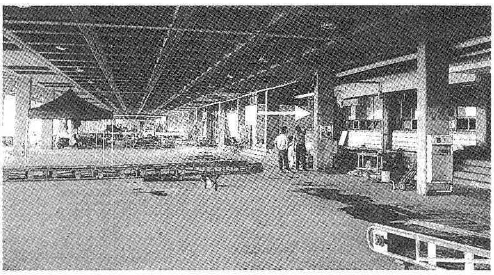
図―3の左側の図は，馬山湾に流入する小河川の左岸における地盤高を示したものである．岸壁に接した店舗の従業員によると，この店舗が波しぶきを被ったかどうかは定かでないが,少なくとも高潮による浸水は免れた．また，背後の幹線道路やその先にある輸出自由団地（工業団地）は浸水した．この岸壁は比較的最近に造られたもので天端も高いが，輸出自由団地は昔からの土地で地盤は低い．図―3には検潮記録の最高水位も併記してあるが，検潮記録と浸水の証言は合致している．

（3）　漁港（地点②）の周辺

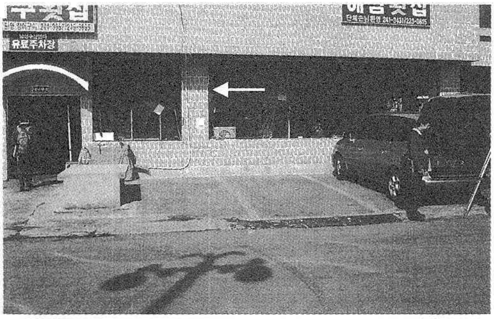
河口から1kmほど南西には漁港がある．関係者によると，その物揚場では，**写真―1**に→印で示す，大人の背丈を超える高さまで浸水した．

この周辺には岸壁に隣接して店舗や事務所のビルが並んでおり，その中には一階の天井まで濡れた事務所もある．また，**写真―2**に示す店舗の従業員によると，少なくとも柱の電気メータがついている高さまでは水に浸かり，窓ガラスも破れた．この店舗の地下は駐車場になっている．その入口は岸壁の方を向いているが，**写真―3**に示すように，止水板など海水の浸入を防ぐものはなかった．地下駐車場の天井には浸水した跡が残っており，地下駐車場は完全に水没したものと考えられる．なお，**写真―2**の左側に見える四角の突起物は，地下駐車場の通気口である．

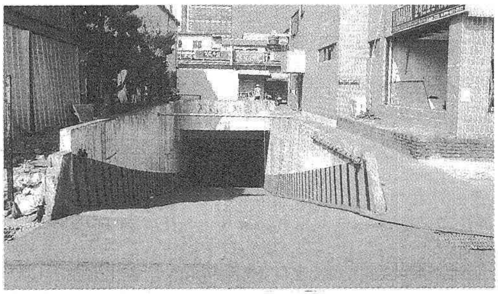
図―3の右側は，漁港周辺の岸壁や浸水位をまとめたものである．証言による浸水位は，検潮記録の最高潮位より1m程度高かった．図―2に示したように，この漁港の周辺は鎮海湾から直接見通せる位置にあるので，鎮海湾からの波浪が到達しやすい．漁港の前方には防波堤もあるが，その遮蔽効果は高潮によって低減したと考えられる．また，高潮による浸水は，物揚場の周辺にとどまらず，背後地にも広がった．したがって，検潮記録より証言による浸水位が高くなった原因としては，波による水面の攪乱や，岸壁に隣接した建物によって高潮の流れ



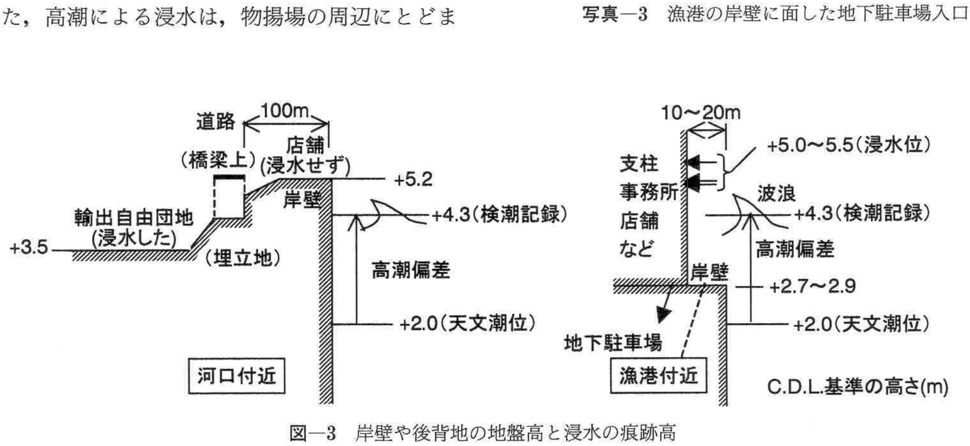
写真―1　漁港の物揚場



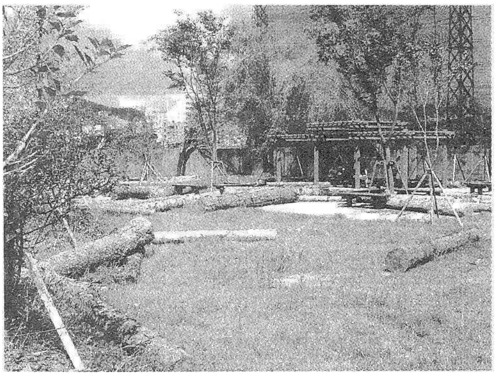
写真―2　漁港の岸壁に面した店舗



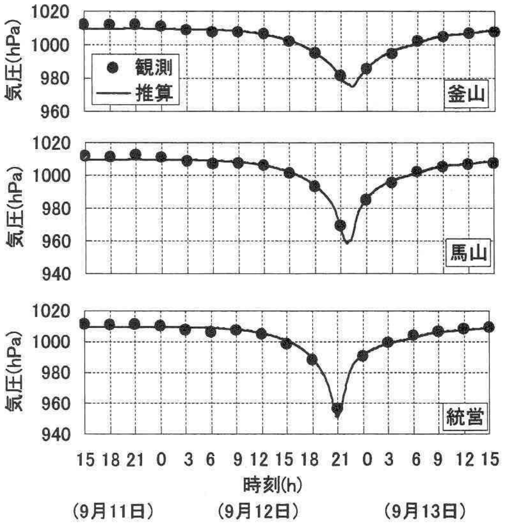
写真―3　漁港の岸壁に面した地下駐車場入口



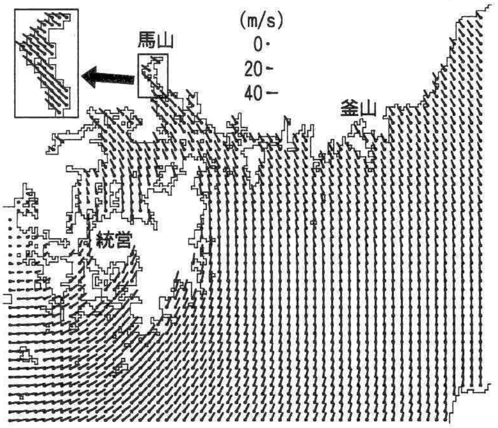
図―3　岸壁や後背地の地盤高と浸水の痕跡高



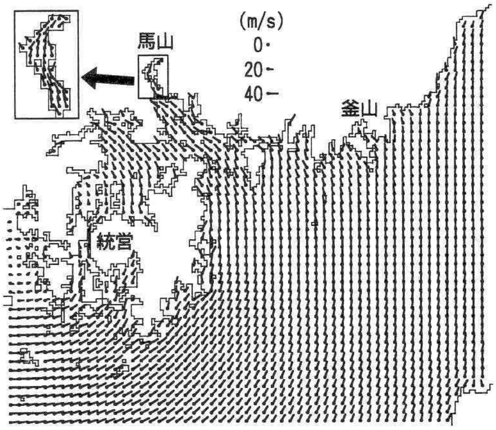
写真—4　高潮によって漂着した材木



図—4　代表地点における気圧の経時変化



(a)　台風モデルによる初期風



(b)　MASCON モデルによって地形の影響を考慮した風

図—5　海上風の分布（9 月 12 日 21 時）

が妨げられることによって生じる局所的な水位上昇が考えられる．

（4）　西港埠頭（地点③）の周辺

西港埠頭の背後に広がる市街地の地盤高は，岸壁から概ね 500 m までが岸壁と同じくらいで，その先が上り斜面になっている．岸壁と市街地との間には，金網のフェンスや植栽が設置されたところもあるが，胸壁のような防潮施設はない．高潮によって岸壁から約 700 m の範囲が浸水し，店舗やアパートの地下では死者もでた．浸水の痕跡高は，波浪の影響を受けにくいところで，検潮記録の C.D.L.+4.3 m に近い 4.1～4.4 m であった．

写真—4 は岸壁に置かれていた材木がフェンスをなぎ倒して漂流したものである．この材木は市街地にも流れ込み，建物にも損傷を与えた．

3.　数値計算モデルによる高潮の追算

（1）　台風の気圧と風

高潮追算に用いる各時刻の台風中心の緯度・経度には，気象庁の速報値を用いた．また，気圧分布には Myers の分布を仮定し，その最大風速半径 r_0 は沖縄～近畿地方および韓国南岸の観測気圧から求めた．**図—4** は韓国南岸の代表地点における気圧の経時変化であり，Myers の気圧分布によってよく再現されていることが分かる．

台風 0314 号は，**図—1** で示したように，鎮海湾の西側と馬山湾のそばを通過したので，これらの海域における高潮の計算では，台風の前方の比較的中心に近いところで吹く南東風の推定が重要となる．そこで，台風の中心付近の三次元構造に起因する super gradient wind も，中心気圧に応じた風速低減係数（Mitsuta・Fujii，1987）を導入することで，海上風の推算に考慮した．

また，鎮海湾や馬山湾を取り囲む陸上地形で海上風が偏向することも考えられる．そこで，陸上地形を東西，南北方向それぞれ0.6 km間隔の格子で再現し，台風モデルによる風を初期風として，三次元MASCONモデルにより陸上地形の影響を考慮した．図—5は，台風の中心が統営の近くに達した9月12日21時の海上風の分布であり，馬山湾の奥へ吹き込む風の場が得られている．

(2) 高潮偏差

高潮は単層の非線形長波方程式に基づく数値計算モデルによって計算した．計算領域には日本列島や朝鮮半島の周辺海域を含み，図—5で示した範囲には0.6 km間隔，馬山湾と釜山港の周辺には0.2 km間隔の計算格子を配置した．時間差分は3 sとした．

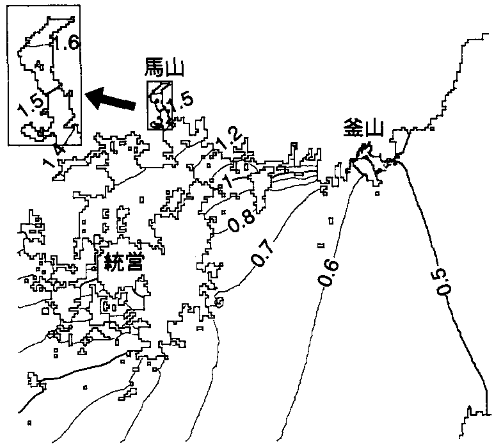
図—6は，高潮推算でよく使われてきた本多・光易(1980)の海面抵抗係数を用いて追算した最大高潮偏差の分布である．馬山湾では約1.6 mの最大高潮偏差が得られているが，検潮記録による約2.3 mよりやや小さい．

ところで，海面抵抗係数は風速によって変化するが，同じ風場であっても波齢の若い波ほど大きな値になることが知られている．そこで，第三世代波浪推算モデルWAM (The WAMDI Group, 1988) のcycle 4を用いて波浪を追算し，その中で使われているJanssen (1989) による波浪の周波数・方向スペクトルと風向を考慮した海面抵抗係数を用いて高潮を追算した．ただし，馬山湾や鎮海湾の複雑な海底地形を再現するために，格子間隔は0.6 kmとし，その格子間隔に適したHersbach-Janssen (1999)の式に置き換え，時間差分を20 sとした．このような方法は八代海の波浪追算でも試みられている（河合ら，2003)．また，波浪スペクトルの方向分割数もデフォルト値の倍以上である32に設定した．

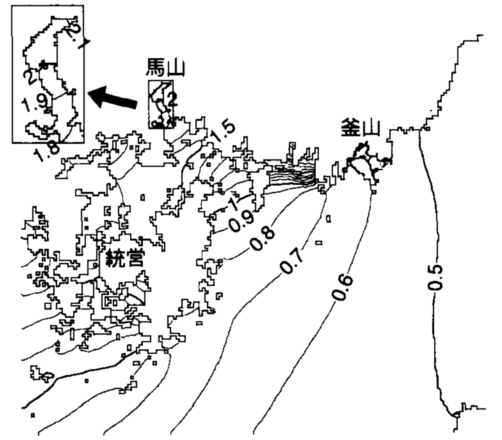
図—7は，Janssenの海面抵抗係数を導入して追算した最大高潮偏差の分布を示す．鎮海湾の入口付近では本多・光易の海面抵抗係数を用いた場合と大差のない約0.9 mが得られているが，馬山では検潮記録による値に近い約2.1 mが得られた．

図—8は馬山における高潮偏差の経時変化を示す．Janssenの海面抵抗係数を用いて追算した高潮偏差は，ピーク（図中のb）もそれに続くリサージェンス（c）も検潮記録とよく一致している．本多・光易の海面抵抗係数を用いた場合に比べて，高潮偏差のピークは高いが，リサージェンスの振幅はあまり大きくなっていない．

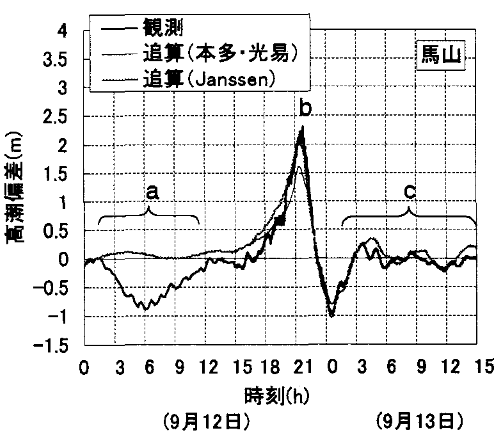
ところで，観測値には高潮偏差がピークとなる半日前(a)にマイナスの偏差が生じている．しかし，数値計算ではこのような偏差が現れず，少なくとも台風の気圧や風に直接起因した現象ではないと考えられる．また，台風の通過前に停滞前線が通過し，降雨による河川水の流入もあったが，これらに起因する偏差とも考えにくく，



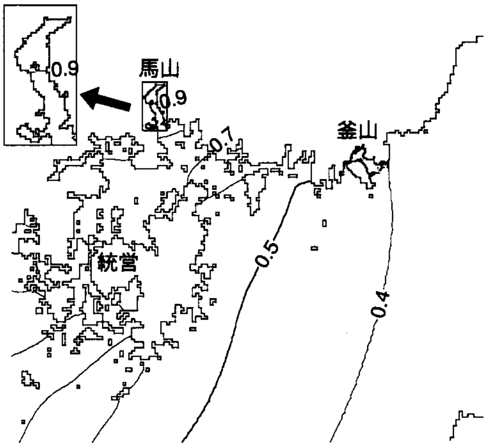
図—6 最大高潮偏差の分布（本多・光易の海面抵抗係数）



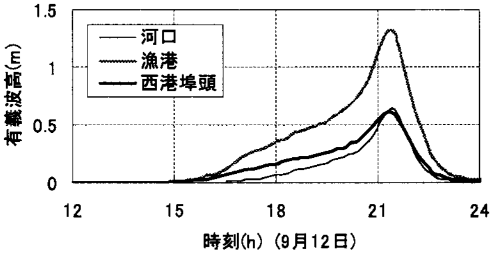
図—7 最大高潮偏差の分布（Janssenの海面抵抗係数）



図—8 馬山における高潮偏差の経時変化



図―9　気圧寄与分の最大値の分布



図―10　馬山湾の北西岸における有義波高の経時変化

潮位観測のトラブルによるものではないかと思われる．

なお，図―9 は，流れの運動方程式で風による海面せん断応力を無視することによって，高潮偏差の気圧寄与分だけを追算した結果である．鎮海湾の入口付近では約 0.6 m，馬山湾では約 0.9 m の高潮偏差が得られている．気圧低下による静的な海面の吸い上げは 1 hPa につき約 1 cm であることが知られているが，追算で得られた馬山の最低気圧は 958 hPa であり，静的なつり合いの約 1.7 倍の高潮偏差が生じたことになる．また，図―7 と比較すると，馬山湾で生じた高潮偏差のうちの半分弱が気圧寄与分であり，残りが風寄与分であることが分かる．

(3) 波　浪

図―10 は，波浪追算によって得られた，馬山湾の北西岸における有義波高の経時変化を示す．最大有義波高の起時は，図―8 に示した最大高潮偏差の起時とほぼ同時である（天文潮の満潮もこれらとほぼ同時）．また，最大有義波高は場所によって異なるが，鎮海湾から見通すことのできる漁港付近では 1 m を超え，島や海岸線によって遮蔽されるその他の地点では小さくなっている．

以上の高潮と波浪の追算結果は，現地調査で明らかになった浸水の状況とも合致する．したがって，馬山湾では検潮記録が示したように 2 m を超える高潮が発生したものと考えられる．

4. おわりに

本研究では，台風 0314 号による馬山湾沿岸の高潮による浸水の現地調査を行った．また，Janssen による波齢を考慮した海面抵抗係数を導入して高潮を追算し，観測値に近い値が得られた．これらのことから，馬山湾では 2 m を超える高潮が発生したものと考えられる．

なお，二回にわたる現地調査においては，被災地の皆様から高潮や波浪の状況を知るための貴重なご証言をいただいた．また，第二回の現地調査では，京都大学防災研究所の安田誠宏氏，株式会社フジタの永瀬恭一氏，韓國海洋研究院（KORDI）の鄭遠武氏をはじめ多くの方々にもご助力いただいた．さらに，本研究の一部は京都大学防災研究所特定共同研究「都市域における氾濫災害危険度評価法の研究開発（代表者：高山知司教授）」によるものである．ここに記して，被災地の早期のご復興をお祈りするとともに，関係各位に謝意を表したい．

参　考　文　献

河合弘泰・川口浩二・橋本典明（2003）：台風による内湾の波浪・高潮の双方向結合推算モデルの構築と台風 9918 号を例とした追算，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 296-300.

後藤惠之輔・李　成林（2004）：2003 年 9 月台風 14 号による韓国南部災害，土木学会誌，Vol. 89, No. 3, pp. 55-58.

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 回海岸工学講演会論文集，pp. 90-93.

Hersbach, H. and P. A. E. M. Janssen (1999): Improvement of the short-fetch behavior in the wave ocean model (WAM), J. Atm. Ocean. Techn., Vol. 16, pp. 884-892.

Janssen, P. A. E. M. (1989): Wave-induced stress and the drag of air flow over sea wave, J. Phys. Oceanogr., Vol. 19, pp. 745-754.

Mitsuta, Y. and T. Fujii (1987): Analysis and synthesis of typhoon wind pattern over Japan, Bulletin Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol. 37, Part 4, No. 329, pp. 169-185.

The WAMDI Group (1988): The WAM model - A third generation ocean wave prediction model, J. Phys. Oceanogr., Vol. 18, pp. 1775-1810.