

瀬戸内海沿岸域における台風 0416 号及び 0418 号に伴う高潮・高波浪の被害について

Damages of Port structures along the Seto Inland Sea caused by the Typhoon 0416 and 0418

兵頭武志*
HYODO Takeshi

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

The Typhoon 0416 and 0418 in 2004 passed through the Kyushu and the Chugoku district. First, this paper shows the damage of port facilities along the Seto Inland Sea in the Chugoku district. The stability analyses of the structure based on the result of tidal levels and sea wave simulation. Finally, the damage mechanism of port facilities was researched, and the damage was classified in several patterns.

Key Words : typhoon, damage, port facility, simulation

1. はじめに

本報文は、平成 16 年に発生した台風 16 号及び台風 18 号（以下、それぞれ 0416 号、0418 号と呼ぶ）による中国地方整備局管内の瀬戸内海に面する 3 県（岡山、広島、山口）の被害に関し、被害状況を整理するとともに、高潮・波浪条件を解析的に求め、その結果を基に構造物の安定計算を実施して港湾施設の被災メカニズムを究明するものである。

2. 被害の状況

岡山県、広島県、山口県の関連機関に協力を仰ぎ、瀬戸内海沿岸域における高潮・高波浪による港湾・海岸構造物の被災状況資料を収集し、また、詳細な被災状況に関しては現地調査や聞き取り調査を行った。

2.1 被害の特徴と被害状況



写真-1 防波堤の被害



写真-2 護岸の被害

写真-1及び写真-2は防波堤及び護岸の被害例である。被害の特徴を以下にまとめる。

- ・防波堤の被害は、セルラータイプの直立堤が捨石基礎上を転倒・滑動したものが多く、また、セルラーの被害は構造物全体というよりも途中高さより転倒・崩壊した例が多い。
- ・護岸の被害については、大半がもたれ式であり、捨石基礎の接地面より上の構造物が崩壊した例が多く、コンクリート構造物自体の破壊もある。また、基礎部あるいは背後地盤も含め、全体的に洗掘・すべり破壊した例が多い。

なお、台風別の被害分布は、岡山県では 0416 号によるものが大半で、広島県と山口県は 0418 号による被害が大半を占めていた。これは後述する台風経路が大きく影響している。

3. 気象・高潮・波浪データの分析

3.1 台風特性と気象諸元

図-1は各台風の経路を示しており、図中に主要な時刻での台風諸元を記す。各台風の特徴を以下にまとめる。

- ・0416 号は 0418 号よりも東寄りの経路であるため、台風の影響範囲が広く、影響範囲は瀬戸内海東部に広がっている。また、上陸前の中心深度は 0418 号と同程度であるが、上陸後に中心深度は小さくなる傾向にある。
- ・0418 号は中心深度 68hPa で深度が大きく、台風半径 110km で 0416 号よりも小さいが、中心付近の勢力が強い。また、移動速度は 61.5km/h で 0416 号よりも速い。

次に、瀬戸内海沿岸の代表観測地点での最低気圧と最大風速を図-2に示し、特徴を以下にまとめる。

- ・気圧の影響（気圧低下に伴う潮位偏差の影響）は、0416 号が瀬戸内海の東側、0418 号が西側で相対的に大きい。
- ・風速の影響（風による吹き寄せと波浪発達への影響）、0416 号は瀬戸内海の東側、0418 号は西側で大きい。

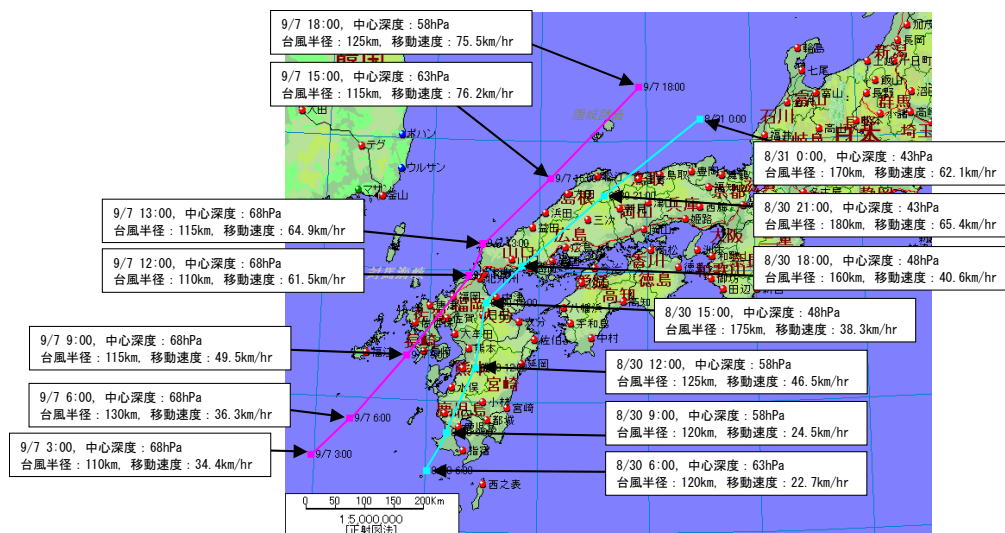


図-1 0416号0418号の経路図 (水色線:0416号, 桃色線:0418号)

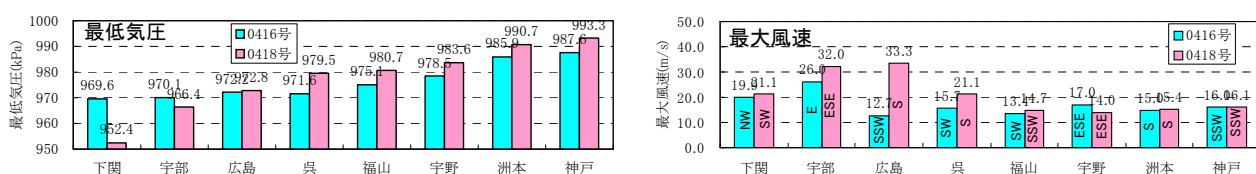


図-2 代表観測地点の最低気圧と最大風速 (図中のアルファベットは風向きを示す)

3.2 高潮特性の比較

代表的な観測地点の最高潮位と最大潮位偏差を図-3に示し、以下に特性をまとめる。

- ・最高潮位は、広島付近を境に 0418 号では瀬戸内海の西側で大きく、0416 号では東側で大きい。また、宇野では既往最高潮位を超えた。
- ・最大潮位偏差は全般に 0418 号で大きい。
- ・0416 号来襲時は大潮期だったが、最大潮位偏差の時刻と満潮時刻との時間差が大きい。0418 号では最大潮位偏差時刻と満潮時刻はほぼ一致したが小潮期だった。

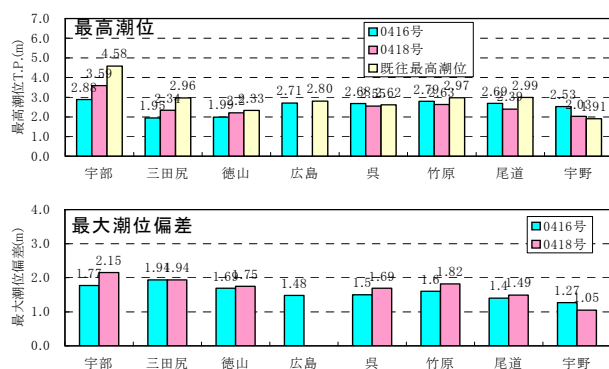


図-3 最高潮位と最大潮位偏差の比較

3.3 波浪特性の比較

主要観測地点の最大有義波高と最大有義波周期を図-4に示す。同図より、苅田と草津では0418号来襲時に発生

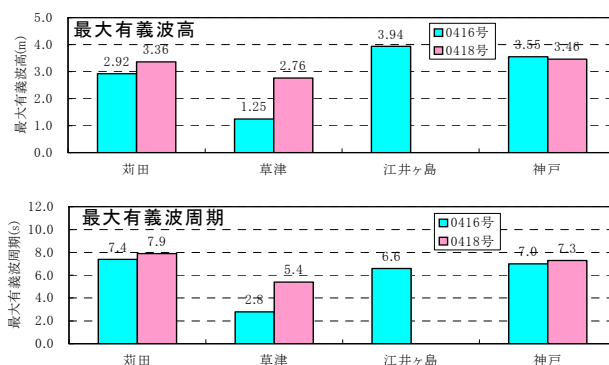


図-4 最大有義波高と同時刻の有義波周期

した最大有義波高が 0416 号来襲時よりも大きかったことがわかる。

3.4 極値統計解析による出現特性

潮位・潮位偏差について極値統計解析を行い、それぞれの再現確率を算出した。解析は、瀬戸内海西部 (防府・山口・徳山)、中部 (広島・呉)、東部 (玉野・岡山・宇野) の3地域に区分けして行い、期間は1976～2004年を対象とした。結果を図-5に示すが、まず、東部地域の宇野での潮位を除いて、各台風諸元の再現確率は50年以下であることから、0416号と0418号は稀な台風ではなかったことがわかる。次に、徳山と宇野に着目すると、徳山は潮位偏差の再現確率が約30年であるが、満潮時間と重なった例が少ないため潮位の再現確率は10年以下と小さい。一方、宇野は最大潮位偏差が満潮に近い時間帯に発生したため、潮位偏差の再現確率は小さいものの、

潮位の再現確率は 0416 号で 70 年を超えている。このことは、満潮時間との関係で潮位・潮位偏差の再現確率が大きく変化することを示しており、したがって、既往最高潮位をベースとする設計に不十分な点があつて、実際には潮位偏差と潮位を分離した考え方が必要であることを表している。

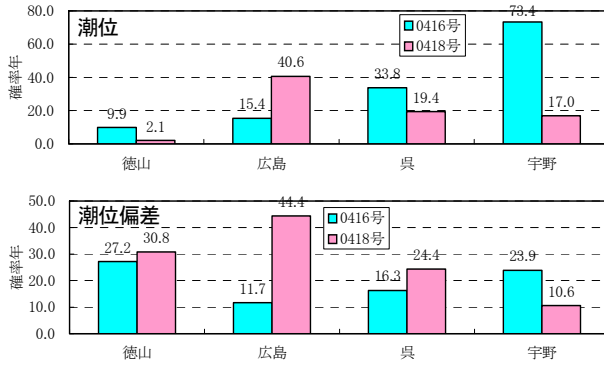


図-5 潮位と潮位偏差の再現確率

4. 高潮・波浪推算

瀬戸内海には波浪の連続観測地点が少ないため、後述の安定計算に必要な外力を求めるには、推算により高潮と波浪を精度よく再現し、データを補完する必要がある。

4.1 高潮及び波浪推算の条件設定

計算格子間隔は無数に点在する島の影響を考慮するため 600m とし、潮位条件は各地域での平均潮位とした。海上風は、一般に高潮推算では台風モデルを、波浪推算では局地気象モデルが用いられるが、各計算で異なる風モデルを使用することには議論の余地がある。そこで、その影響を調べるために、それぞれについて風モデルを次のように設定した計算を事前に行って、観測結果と適合性の高いモデルを採用することにした。

①高潮推算

- ・Case-S-1：台風モデル（スーパーグラディエントモデル（以下、SG モデルと呼ぶ））により計算される海上風の風向を観測風に基づいて補正
- ・Case-S-2：局地気象モデル

②波浪推算

- ・Case-W-1：局地気象モデル
- ・Case-W-2：台風モデル（SG モデル）
- ・Case-W-3：台風モデル（SG モデル）により計算される海上風を観測風に基づいて補正

4.2 高潮及び波浪推算結果

①高潮推算結果

0418 号来襲時の広島における風速時系列を図-6に、徳山、広島、宇野での潮位偏差の結果を図-7に示す。これらの結果より、Case-S-2 の局地気象モデルでは風速が相対的に小さく算出されることで結果的に潮位偏差が小

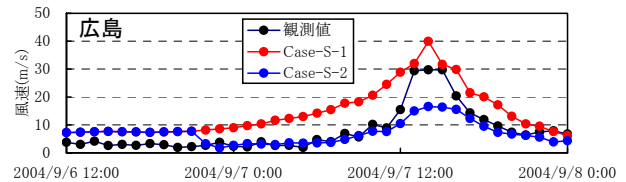


図-6 風速時系列の比較 (0418 号, 広島)

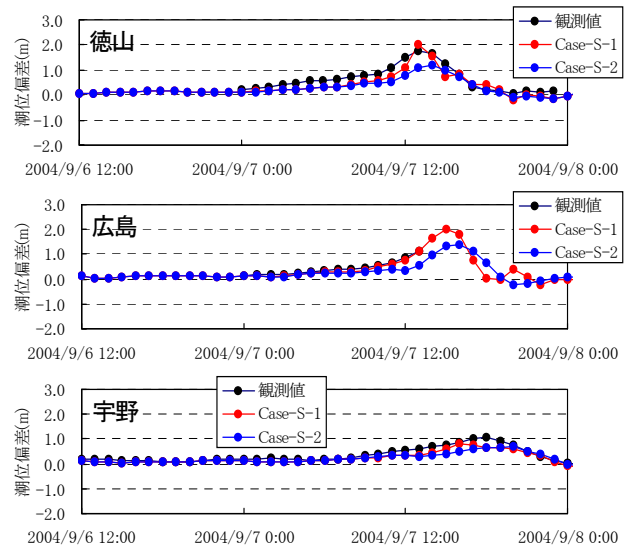


図-7 潮位偏差時系列の比較 (0418 号)

(徳山・広島・宇野、ただし、広島の観測値は一部欠測)

さくなり、観測値との対応はCase-S-1 よりも良くないことがわかる。

②波浪推算結果

江井ヶ島を対象にWAM法で計算した結果 (0416 号) を図-8に示す。同図より、Case-W-1 の有義波高は他のケースよりも小さく、観測値よりも若干小さいが、有義波周期については観測値との対応は他のケースよりも良い。

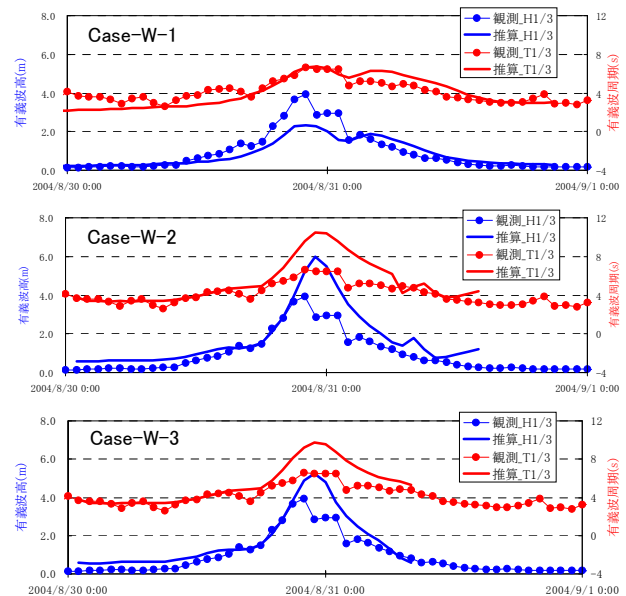


図-8 風モデル別の計算結果の比較 (0416 号, 江井ヶ島)

高潮及び波浪推算について、風モデルの違いによる影響を調べたところ、現時点では同じ風モデルを用いるのは適正でないことが明らかとなった。今後、共通の風モデルが採用できるように高潮及び波浪推算モデルを総合的に改良するなどの対応が必要と考えられる。

以上の結果を踏まえ、高潮推算では台風モデルより算出される海上風に対し、観測風に基づいて風向きを強制的に補正するモデル (Case-S-1) を採用することにし、波浪推算では局地気象モデル (Case-W-1) を採用することにした。

5. 被災原因の分析

高潮時の潮位及び潮位偏差と浅海域の波浪変形計算によって算定した外力から被災構造物の安定計算を行い、構造物の被災メカニズムを推定した。

5.1 構造物の安定計算

管内の17施設を対象に、護岸に関しては滑動・転倒・越波量・パラペット強度を、防波堤に関しては滑動・転倒について安定計算を実施した。なお、波の作用状態については、波の峰作用時と波の谷作用時を考慮した。

被災時の安定計算結果より、被災の要因となる検討項目を絞り込み、被災時の波高・潮位の時系列と、その変化に応じた安定計算項目ごとの限界値を求めた。広島港観音マリーナ護岸での計算結果を図-9に示す。この例では、波高が2.0m以上に達してパラペットの破損限界を超えているが、その前に波の谷作用によって構造物が滑動して被災にいたったと推定された。

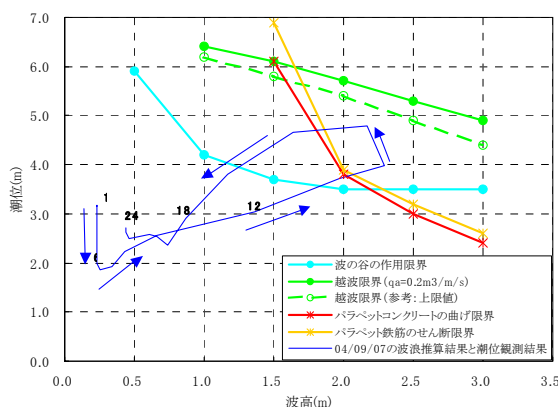


図-9 波高・潮位の時系列と安定限界値
(広島港観音マリーナ護岸)

5.2 被災メカニズムの究明

現地の被災状況と安定計算結果を踏まえ、各施設の被災メカニズムフローを作成した上で、被災パターンを分類した。護岸の被災パターンを図-10に示す。

被災メカニズムを総括すると、護岸に関しては、台風に伴う高潮位・高波浪によって波圧の増加や越波に伴う

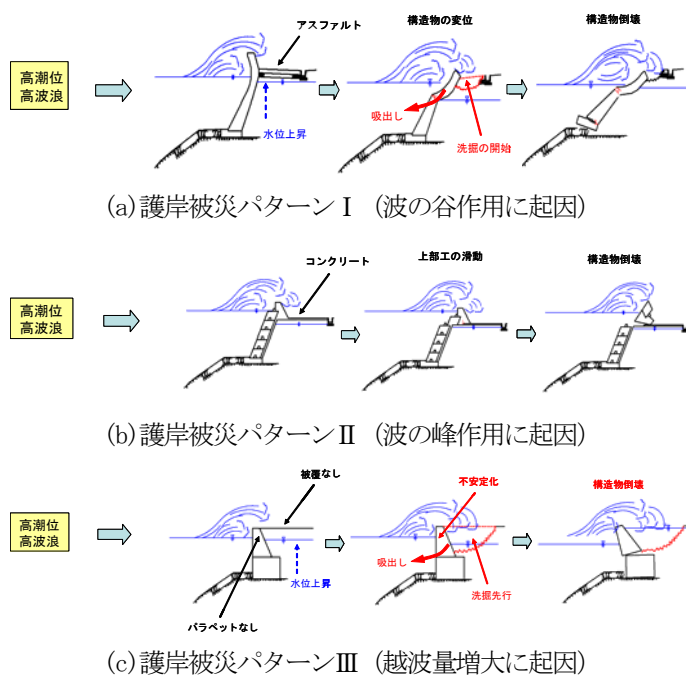


図-10 護岸の被災パターン

背後地の水位上昇が生じて構造物が変位し、合わせて背後地の洗掘や吸出しを受けるなどして連鎖的に崩壊したと推測された。また、防波堤については、波圧の増加と潮位上昇によって構造物が変位し、滑動・転倒の限界値を超えて被災にいたったと推測された。

以上を踏まえ、護岸と防波堤について、現行の設計法の問題点と対策を以下に示す。

①護岸

- ・瀬戸内海沿岸域では、波の谷の作用を考慮した設計はされていない。波の谷の作用で被災する例もあることから、必要に応じて適用すべきである。
- ・パラペットうち継ぎ目が弱点となって破壊した例があるので、補強鉄筋などを考慮しなければならない。
- ・構造物の一時的な変位に伴う目地からの背後土砂の吸出し防止策を考慮する必要がある。

②防波堤

- ・防波堤内側に回り込んだ波の峰の作用と、防波堤外側の波の谷作用が同時に起こり、構造物が外側に転倒した例があることから、設計では波の谷の作用も必要に応じて考慮すべきである。
- ・潮位上昇に伴う浮力増加の抑制には上部工の嵩上げが効果的であるが、同時に波の受圧面積も大きくなるので、その場合、波圧低減策も講じなければならない。

6. おわりに

本報文は中国地方整備局発注による「瀬戸内海における高潮・高波浪防災検討調査」の成果を取りまとめたものであり、京都大学の高山知司教授を委員長とする検討委員会の委員の方々には大変貴重な意見をいただいた。ここに記して、深く感謝致します。