ISSN 1346-7328
国総研資料　第893号
平 成 ２ ８ 年 ３ 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 893　　March 2016

備讃瀬戸沿岸の港湾地域における台風1511号に伴う高潮等の調査報告

本多和彦・内藤了二・淺井　正

Damage to Port Areas along Seto Inland Sea due to Storm Surge and Waves of Typhoon 1511

Kazuhiko HONDA, Ryoji NAITO, Tadashi ASAI

国土交通省　国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料
No. 893　　2016 年 3 月
(YSK-N-329)

備讃瀬戸沿岸の港湾地域における台風 1511 号に伴う高潮等の調査報告

本多和彦＊・内藤了二＊・淺井　正＊＊

要　旨

2015年7月17日，台風1511号は，約20km/hと比較的ゆっくりとした速さで瀬戸内海を横断し，その後，日本海に抜け，熱帯低気圧に変化した．この台風によって，とくに四国を中心に，降雨，越波および高潮による浸水被害が発生し，また，波浪および強風によって港湾施設に被害が発生した．

備讃瀬戸沿岸に位置する宇野港，高松港および坂出港では，港湾施設の被害のほか，浸水被害も発生したため，それらの状況を把握することを目的とし，関係者へのヒアリングおよび浸水痕跡測量の現地調査を実施した．また，高潮予測解析の課題を整理するために，宇野港および高松港を対象とした数値解析も実施した．

本調査で得られた結果は以下のとおりである．

(1) 最大高潮偏差の起時が干潮の時刻に近かったため，浸水被害の範囲は限定的であった．
(2) 宇野港およびその周辺では，比較的波浪は小さかったが，強風によって浮桟橋の屋根が飛散した．また，閉鎖していた水門により，雨水によって内水位が上昇し，浸水被害が発生した．
(3) 高松港およびその周辺では，越流および越波による浸水が確認されたが，範囲は限定的であった．
(4) 坂出港では，比較的大きい波浪が来襲したため，越波による浸水が確認された．
(5) 台風の中心が接近する沿岸部を対象とした高潮予測解析では，中心経路および中心気圧の予測の差異の高潮解析結果に与える影響が大きいため，それらの不確実性を考慮する必要がある．

キーワード：台風，高潮，波浪，浸水，被害，現地調査

＊ 沿岸海洋・防災研究部　主任研究官
＊＊ 沿岸海洋・防災研究部　沿岸防災研究室長
〒239-0826　横須賀市長瀬3-1-1　国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5024　Fax：046-844-5068　e-mail：honda-k852a@mlit.go.jp

Technical Note of NILIM
No. 893 March 2016
(YSK-N-329)

Damage to Port Areas along Seto Inland Sea due to Storm Surge and Waves of Typhoon 1511

Kazuhiko HONDA*
Ryoji NAITO*
Tadashi ASAI**

Synopsis

On July 17, 2015, Typhoon 1511, named Nangka, crossed the Seto Inland Sea relatively slowly at about 20km/h, before the typhoon entering the Sea of Japan and then changing to a tropical cyclone. Especially in the Shikoku Region, heavy rain, storm surge, and wave overtopping of the typhoon caused inundation damage, and some port facilities were damaged by its waves and gales.

The typhoon caused not only damage of port facilities, but also inundation in Uno, Takamatsu, and Sakaide Ports, which are located in the central area of the Seto Inland Sea. Therefore, a field survey of the damage and the inundation was conducted: hearing survey and inundation trace height measurement. In addition, numerical simulations on storm surge were carried out for Uno and Takamatsu Ports to study problems in storm surge prediction. The major outputs are as follows:

(1) The inundation area was not wide because the storm surge reached its maximum during low tide.
(2) In Uno Port area, waves were small, but the roofs of a floating pier were blown down in the gale. Heavy rain caused inundation in the upstream area from the closed water gate.
(3) Inundation occurred locally due to storm surge and wave overtopping in Takamatsu Port area.
(4) Relatively high waves entered Sakaide Port, and then inundation due to wave overtopping occurred in the port.
(5) Storm surge in the coastal area close to the typhoon track are most affected by the track and the central pressure. Therefore, their uncertainty should be properly evaluated in the storm surge prediction for that area.

Key words: typhoon, storm surge, wave, inundation, damage, field survey

* Senior Researcher, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department
** Head of Coastal Disaster Prevention Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone: +81-46-844-5024 Fax: +81-46-844-5068 e-mail: honda-k852a@mlit.go.jp

目　次

1. まえがき ····· 1

2. 台風 1511 号の概要 ····· 2

3. 調査対象港湾の概要 ····· 3
3.1 宇野港 ····· 4
3.2 高松港 ····· 4
3.3 坂出港 ····· 5

4. 潮位記録 ····· 6
4.1 宇野港 ····· 6
4.2 高松港 ····· 6

5. 現地調査概要 ····· 6

6. 現地調査結果 ····· 7
6.1 宇野港およびその周辺地域 ····· 7
6.2 高松港およびその周辺地域 ····· 9
6.3 坂出港 ····· 12

7. 高潮数値解析 ····· 13
7.1 台風モデル ····· 13
7.2 流体解析モデル ····· 14
7.3 解析条件 ····· 14
7.4 台風情報による影響 ····· 17
7.5 解析解像度による影響 ····· 19
7.6 台風モデルによる影響 ····· 20

8. まとめ ····· 21

9. あとがき ····· 21

謝辞 ····· 21
参考文献 ····· 21
記号表 ····· 22

付録 A 台風 1511 号の諸元 ····· 24
付録 B 施設被害資料 ····· 30
付録 C 調査対象港湾の港湾計画図 ····· 32
付録 D 台風の最大風速半径による解析結果の影響 ····· 38
付録 E 台風の中心位置による解析結果の影響 ····· 39

1. まえがき

気象庁の台風統計資料（2015年は速報値，それ以前は確定値．以降同じ．）によると，2015年は毎月台風が発生した年であり，これは，気象庁が台風に関する統計を開始した1951年以降において初めてのことである．**図-1.1**および**図-1.2**に，各年の台風発生数および日本への台風上陸数と，それらの1951年から2015年までの平均値を示す．2015年の発生数は27，上陸数は4であり，それぞれの平均値26.2および2.9と比較して，2015年は同程度である．

国土交通省による災害・防災情報によると，2015年に災害をもたらした台風は，**表-1.1**に示す9個である．

台風1506号では，鹿児島県で強風によって12棟の住宅の屋根が飛散し，静岡県で河川からの溢水によって7棟の家屋が床下浸水の被害が発生した．

台風1511号では，四国等で高潮や越波による浸水が発生し，また，波浪によって港湾施設が損傷した．さらに，徳島県等で河川からの溢水により100棟を超える家屋が床上・床下浸水し，また，各地で土砂災害も発生した．

台風1512号では，秋田県で河川の決壊や溢水によって約10棟の家屋が床下浸水する被害が発生した．

台風1515号および台風1516号では，九州を中心に各地で強風や波浪によって港湾施設が損傷する被害が発生した．また，熊本県では，大雨による河川からの溢水によって棟の家屋が床上浸水するとともに，23棟の家屋が床下浸水する被害が発生した．

台風1517号は，後述の台風1518号とともに，北海道から関東地方の各地の港湾において，強風に伴う流木等の航路・泊地への漂流，また，波浪による港湾施設の損傷といった被害をもたらした．

台風1518号は，愛知県知多半島に上陸し，その後日本海に進み温帯低気圧に変わった．この台風1518号および台風から変わったこの温帯低気圧により，南から湿った空気が日本の広範囲に流れ込み，とくに関東地方および東北地方では記録的な大雨となった（平成27年9月関東・東北豪雨）．この大雨による鬼怒川等の決壊や土砂災害により，死者は8名となった．また，家屋被害も甚大であり，全壊82棟，半壊6,215棟，床上浸水2,812棟，床下浸水10,215棟であった（2016年1月15日時点）．

台風1521号では，与那国島で統計開始以来1位となる最大瞬間風速81.1mを観測した．この強風や波浪により，沖縄県では，離岸堤の損壊，漁船の横転およびコンテナの水没という被害が発生した．

台風1523号では，北海道の港湾において，高潮による浸水被害および越波による被害が発生した．また，北海道の美幌町では，内水氾濫により約370棟の家屋に床上・床下の被害が発生した．

本稿では，2015年に港湾地域に浸水被害をもたらした台風1511号および台風1523号のうち，台風1511号による高潮や越波による浸水被害および港湾施設被害について，宇野港，高松港，坂出港，およびその周辺地区を対

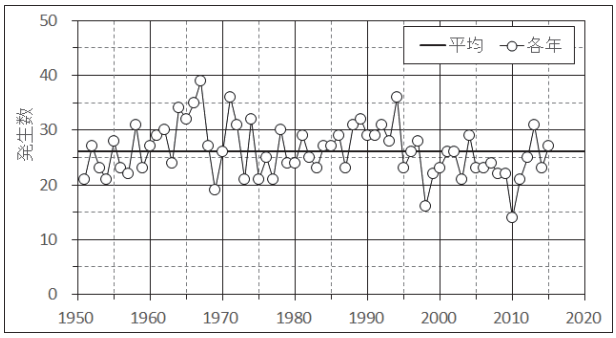


図-1.1　台風発生数

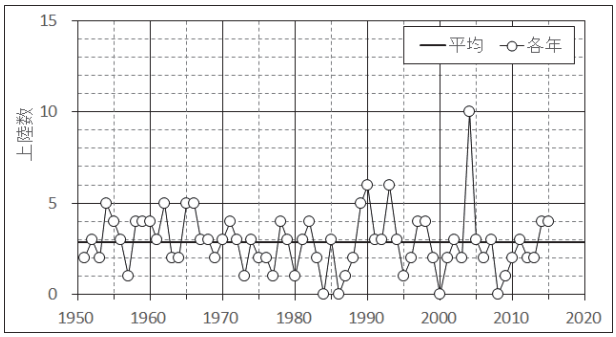


図-1.2　台風上陸数（日本）

表-1.1　災害をもたらした台風（2015年）

台　風	上陸	発生日時(*1)	消滅日時(*2)	備　考
1506 号	―	5/ 4　3 時	5/12　15 時	
1511 号	上陸	7/ 4　3 時	7/17　21 時	
1512 号	上陸	7/13　3 時 7/20　3 時	7/17　9 時 7/26　21 時	(*3)
1515 号	上陸	8/15　3 時	8/25　21 時	
1516 号	―	8/15　3 時	8/25　15 時	
1517 号	―	9/ 2　9 時	9/11　21 時	
1518 号	上陸	9/ 7　21 時	9/ 9　15 時	(*4)
1521 号	―	9/22　21 時	9/29　21 時	
1523 号	―	10/ 2　15 時	10/ 8　3 時	

(*1)：発生もしくは域外から入った日時
(*2)：熱帯低気圧・温帯低気圧に変わった日時
(*3)：途中で熱帯低気圧に変わり，再び台風に発達
(*4)：平成27年9月関東・東北豪雨

象に現地調査を実施したので，その調査結果を報告する．また，高潮予測解析の課題を整理するために，宇野港および高松港を対象とした数値解析も実施したので，その解析結果も併せて報告する．

2. 台風1511号の概要

2015年7月3日3時にマーシャル諸島で発生した熱帯低気圧は，その後1日かけて台風1511号となった．台風に変化する前や台風から変化した後の熱帯低気圧のときも含めて，台風1511号の中心気圧の推移を**図-2.1**に示す．なお，台風1511号の広域の経路図および中心気圧等の詳細については，**付録A**に掲載している．

7月4日3時に発生した台風1511号は，勢力を強めながら西進し，7月7日21日にはグアム島から東におよそ1,000kmの地点において中心気圧925hPaまで発達した．この台風は，しばらく勢力を維持したまま西北西に進行したが，7月10日15時頃から勢力を弱めながら西進するようになり，7月12日21時には中心気圧960hPaとなった．しかし，その後，7月13日15時から再び勢力を強めるとともに，日本に向けて北上するようになり，7月15日3時には紀伊半島の南の海上約900kmの地点において中心気圧945hPaとなった．

日本付近における台風1511号の経路図を**図-2.2**に示す．台風1511号は，比較的ゆっくりとした約20km/hの速さで，7月16日23時頃に高知県室戸市付近に上陸し，その後，瀬戸内海に抜け，7月17日6時頃に岡山県倉敷市付近に再上陸するとともに中国地方を北上した．同日午後には，日本海を北東に進み，同日21時に熱帯低気圧に変化した．

この台風1511号に伴う高波によって，四国地方，中国地方および近畿地方を中心に，防波堤，岸壁，護岸，航路等といった港湾施設および港湾局所管の海岸保全施設が移動・損傷する被害が発生した．なお，これら施設の被害状況の詳細については，**付録B**に掲載している．港湾地域の浸水被害については，越波による浸水のほか，宇野港および高松港の港湾地域において，高潮等に伴う越流による浸水が発生したが，その浸水範囲は限定的であった．

台風は低気圧であるため，中心に向かって螺旋を描きながら反時計回りに風が流れ込む．そのため，台風が移動していると，その進行方向に対して右側は，この風に台風の移動速度が加わるために風が強くなるため，危険半円と呼ばれている．一方，進行方向に対して左側は，台風の螺旋状の風の方向と台風の進行方向が異なり，危険半円での風の強さと比較して弱いため，可航半円と呼ばれている．**図-2.2**に示すとおり，宇野港および高松港は，台風1511号の危険半円に位置し，また，台風の中心が約30kmと非常に近くを北北東に向かって時速約15kmで通過した（中心気圧980hPa前後）．

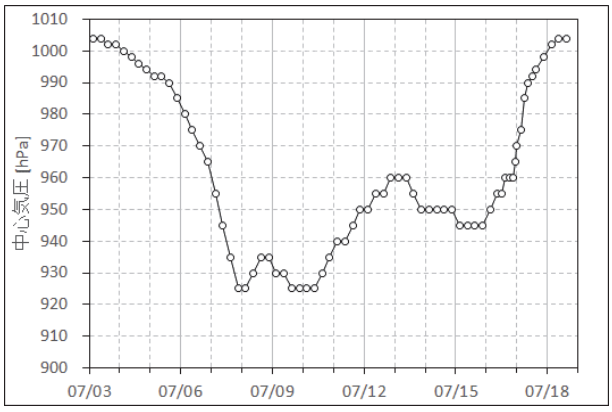


図-2.1　中心気圧（台風 1511 号）

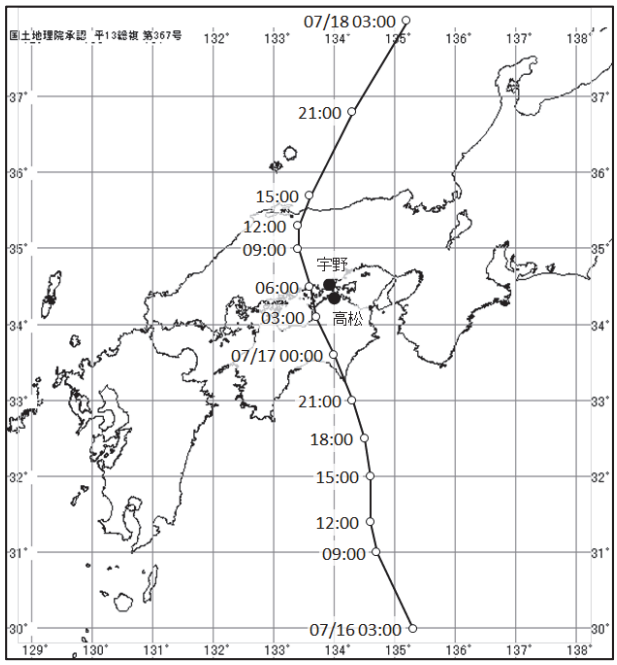


図-2.2　日本付近における経路図（台風 1511 号）

宇野港および高松港において，過去に越流による浸水被害が発生した代表的な事例は，2004年8月30日23時頃に両港の検潮所の過去最高潮位（2016年1月現在）を記録した台風0416号が挙げられる．高松市では，この台風に伴う高潮により，浸水が9.8km^2（980ha）と広範囲に渡り，死者2名，床上浸水3,810棟，床下浸水11,751棟という甚大な被害が発生した．

台風0416号の中心気圧の推移および日本付近における経路図を，それぞれ**図-2.3**および**図-2.4**に示す．2004

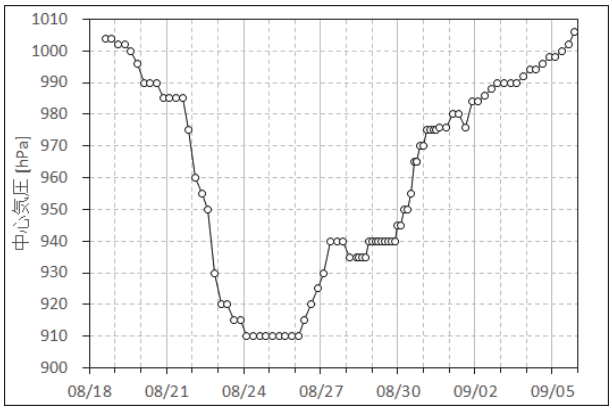


図-2.3　中心気圧（台風 0416 号）

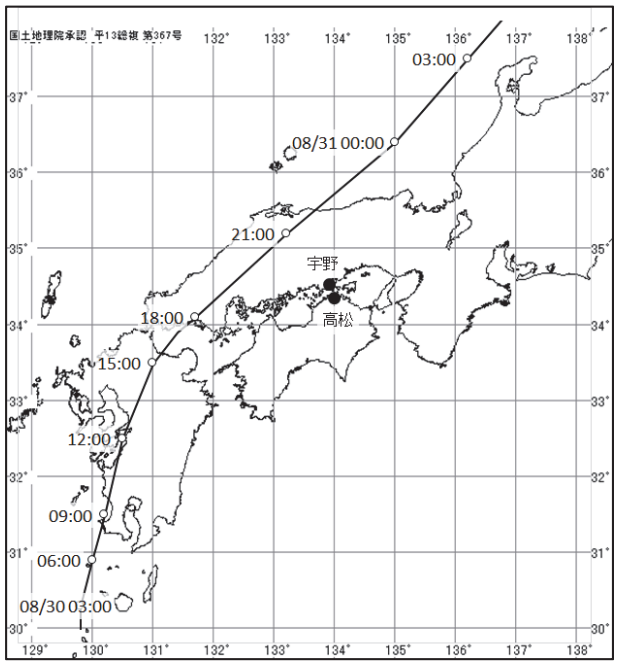


図-2.4　日本付近における経路図（台風 0416 号）

年8月19日21時にマーシャル諸島近くで発生した台風0416号は，太平洋上で中心気圧910hPaまで勢力を強め，8月30日10時前に鹿児島県串木野市付近に中心気圧955hPaで上陸し，同日17時半過ぎに山口県防府市付近に中心気圧965hPaで再上陸した．その後，中国地方および日本海を北東に進み，翌31日12時過ぎに北海道函館市付近を，同日12時半頃に北海道長万部町付近を，中心気圧975hPaで再上陸した．

図-2.4に示すとおり，宇野港および高松港は，台風0416号の危険半円に位置しているが，台風の中心は約100kmと比較的遠くを北東に向かって時速約60kmで通過した（中心気圧970hPa）．

宇野港および高松港の対象港に着目して，この台風0416号と今回の台風1511号とを比較すると次のとおりである．

台風1511号および台風0416号ともに，対象港は危険半円側に位置している．

台風の中心が対象港に最接近した時点について，台風0416号では，その距離は約100kmで中心気圧は970hPaであり，台風1511号では，その距離は約30kmで中心気圧は約980hPaである．台風0416号の方が低い中心気圧であったが，中心から対象港までの距離が遠かったため，対象港における海面気圧が同程度であった（高松での1時間毎の観測値の最低値：台風0416号では978.1hPa，台風1511号では981.1hPa）．対象港での海面気圧が同程度であることから，静的な釣り合いを仮定すると，気圧低下に伴う高潮（吸い上げ効果）については，台風0416号も台風1511号も同程度であると考えられる．

台風0416号は，瀬戸内海の長軸に沿って，瀬戸内海を危険半円側としながら速い移動速度で進行した．一方，台風1511号は瀬戸内海の長軸（東西方向）を横断するように移動した．そのため，風応力により海水が押し寄せられて発生する高潮（吹き寄せ効果）について，対象港においては，台風1511号ではあまり発達せず，一方，台風0416号では瀬戸内海の西側から長い距離をかけて発達したと考えられる．

3. 調査対象港湾の概要

図-3.1および**図-3.2**に現地調査を実施した宇野港，高松港および坂出港の位置を示す．調査対象の3港湾は，瀬戸内海の中央部の備讃瀬戸の沿岸部に位置し，宇野港は北側の岡山県玉野市，高松港および坂出港は，それぞれ，南側の香川県高松市および坂出市にある．

外洋に面した沿岸では，波浪を遮蔽する地形が少ないことから，沖合の海域で風により発達し伝播してきたうねりや沿岸近くで強風により発達した風波が直接来襲する．一方，閉鎖性の高い海域の沿岸では，波浪を遮蔽する地形が天然の防波堤としての効果を有するため，外洋に面した沿岸に対して，波高が比較的小さい傾向となる．

瀬戸内海は閉鎖性の高い海域であり，その中でも，とくに備後灘，燧灘および備讃瀬戸の海域は，他の瀬戸内海の海域と比較して，波浪を遮蔽する島嶼部が非常に多いため，さらに波高が小さい傾向となる．そのため，調査対象の3港湾は，備讃瀬戸の沿岸部に位置しており，波高が比較的小さい港湾である．

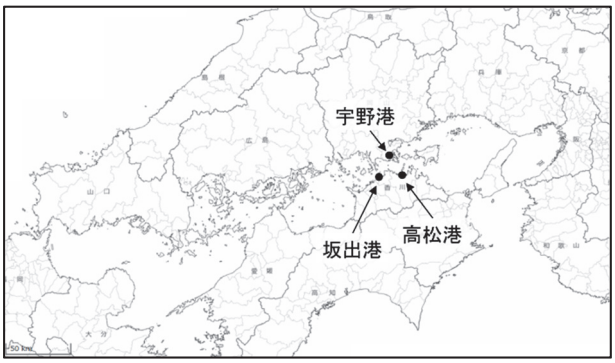


図-3.1　対象港湾位置図（広域）
（地理院地図を加工して作成）

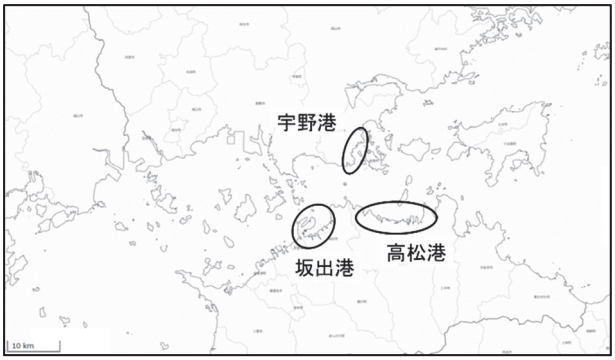


図-3.2　対象港湾位置図（詳細）
（地理院地図を加工して作成）

以降の各節では，宇野港，高松港および坂出港について，各港湾の概要，地理的な特徴および台風0416号による被災状況について述べる．

3.1　宇野港

宇野港の港湾区域を**図-3.3**に示す（拡大した図は**付録C**に掲載）．宇野港は，岡山県玉野市沿岸部の約8kmの範囲に渡り，フェリー貨物の拠点港および金属鉱等を取り扱う外貿港としての役割を担い，また，岡山県の防災拠点としての港湾にも位置付けられている．

宇野港は，前出の**図-3.2**にあるとおり，前面の東側に直島等の多くの島嶼が密集している．これらの島嶼は，とくに東からの波浪に対して遮蔽物となり，天然の防波堤としての効果を有する．なお，宇野港の南側を遮蔽する地形がないため，南からの波浪は直接港内に侵入する．

宇野港では，2004年の台風0416号により，高潮による浸水被害が発生した．富田ら（2005a，2005b）による痕跡調査によると，宇野港内での浸水高はT.P.+2.6m～2.7mであり，浸水深は0.6m～0.9mにも及ぶ地区もあった．このときは，波浪が比較的大きかったため，浸水した地区において，波浪によって外壁が破壊された家屋もあった．



図-3.3　宇野港港湾区域（地理院地図を加工して作成）

3.2　高松港

高松港の港湾区域を**図-3.4**に示す（拡大した図は**付録C**に掲載）．高松港は，香川県高松市沿岸部の東西方向に約13kmの範囲に渡る．高松港は，フェリー貨物の拠点港としての役割を担い，2012年におけるフェリー貨物の取扱貨物量（内航）は全国7位，船舶乗降人員（内航）は全国4位である．

高松港は，前出の**図-3.2**に示すように，その前面の北側に男木島および女木島の2島が位置している．前述の宇野港と比較して，前面に位置する島が少なく，また，これらの島が波浪を遮蔽する範囲も狭い．そのため，前面の北側から来襲する波浪を減衰する効果は小さい．一方，高松港の東側には半島状の地形があるため，この半島状の地形による遮蔽効果により，東からの波浪が港内に直接侵入することができない．

高松港のある高松市では，台風0416号に伴う高潮により，浸水が9.8km^2（980ha）と広範囲に渡り，死者2名，床上浸水3,810棟，床下浸水11,751棟という甚大な被害が発生した．このときは，河川（詰田川）からも浸水したため，前面の沿岸部からだけではなく，河川のある背後からも市街地への浸水が広がった．富田ら（2005a, 2005b）による痕跡調査によると，高松港およびその周辺地域における浸水高はT.P.+2.3m～2.5mであり，浸水深は0.5m～0.7mにも及ぶ地区もあった．なお，高松港では，宇野港

と比較して，波浪による影響は小さかった．

3.3　坂出港

坂出港の港湾区域を**図-3.5**に示す（拡大した図は**付録C**に掲載）．坂出港は，香川県坂出市沿岸部の約7kmの範囲に渡る．坂出港は，その背後に瀬戸大橋等があることから，海陸の交通が交わる要所となっていることから，2012年の取扱貨物量は，四国全体の港湾取扱貨物量の27.5%であり，四国1位である．

坂出港は，前出の**図-3.2**のように，宇野港および高松港とは異なり，その前面に波浪を遮蔽するような島がない．しかし，坂出港の東側には半島状の地形があるため，この半島状の地形により，東から来襲する波浪は直接港内に侵入することができない．さらに，西側には港湾を覆うように埋立地が広がっている．この埋立地は，西からの波浪の港内への侵入を防ぎ，また，港内の西側の海域については，この埋立地による遮蔽効果により，北からの波浪が直接侵入することができない．

坂出港およびその周辺では，宇野港および高松港よりも地盤が高いため，台風0416号による高潮浸水被害は沿岸部の地区に留まり，浸水範囲は限定的であった．富田ら（2005a，2005b）による痕跡調査によると，坂出港内での浸水高はT.P.+2.3m～2.4mであり，岸壁近くの浸水深は0.6m～0.7mであった．なお，坂出港においても，宇野港と比較して，波浪による影響は小さかった．

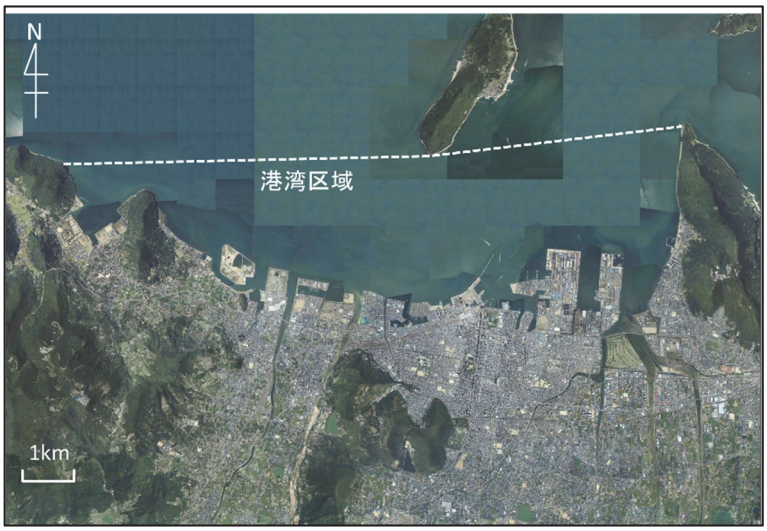


図-3.4　高松港港湾区域（地理院地図を加工して作成）

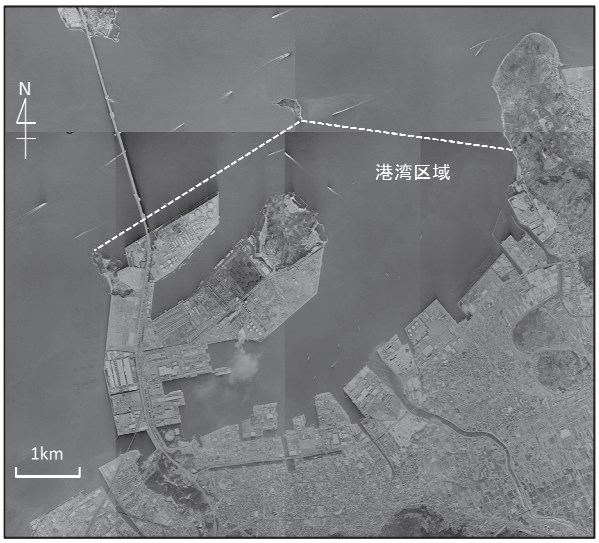


図-3.5　坂出港港湾区域

（国土地理院地図・空中写真閲覧サービスによる空中写真を加工して作成）

4. 潮位記録

対象港湾のうち，気象庁が潮位記録を公表している宇野港および高松港について，それらの確定値を取り纏めた結果は以下のとおりである．なお，実測潮位および高潮偏差（潮位偏差）は平滑値が基本であるが，これらの最大値のみについては，平滑値ではなく瞬間値である．

宇野港と高松港の両港とも，台風0416号による高潮被害の際に過去最高潮位を記録した．このときは，満潮時刻と高潮偏差が最大となった時刻がほぼ重なり，実測潮位が非常に高くなった．

4.1　宇野港

台風1511号が来襲した際の宇野港における実測潮位，天文潮位および高潮偏差を**図-4.1**に示す．また，過去最高潮位，高潮警報基準潮位および高潮注意報基準潮位も同図に示す．

実測潮位は，7月17日0時22分にT.P.+1.84mの最大値を記録し，高潮警報の基準潮位とほぼ同じであった．一方，高潮偏差は，満潮時刻の同日0時5分には0.43m程度であり，その最大値は同日6時24分に0.93mを記録した．図から分かるように，この高潮偏差の最大値を記録した時刻は，干潮時刻に近かった．もし，前述の満潮時刻と重なっていれば，天文潮位と高潮偏差を合わせた合成潮位はT.P.+2.28mとなり，今回の実測潮位よりも約0.4m程度高く，より広い範囲に浸水被害が広がっていた可能性がある．

台風1511号の接近に伴い，宇野港のある玉野市には，7月16日4時18分に波浪注意報，同日13時20分に波浪警報および高潮注意報，同日16時に高潮警報を発表した．その後，高潮警報は，翌17日3時16分に高潮注意報に切り替わり，同日12時20分に解除された．波浪警報は，翌17日7時57分に波浪注意報に切り替わり，翌18日4時に解除された．

4.2　高松港

台風1511号が来襲した際の高松港における実測潮位，天文潮位および高潮偏差を**図-4.2**に示す．また，過去最高潮位，高潮警報基準潮位および高潮注意報基準潮位も同図に示す．

実測潮位は，7月17日0時31分にT.P.+1.85mの最大値を記録し，高潮警報の基準潮位とほぼ同じであった．一方，高潮偏差は，満潮時刻の同日0時4分には0.51m程度であり，その最大値は同日6時30分に0.88mを記録した．高松港でも宇野港と同様に，干潮時刻に近い時刻に高潮偏差

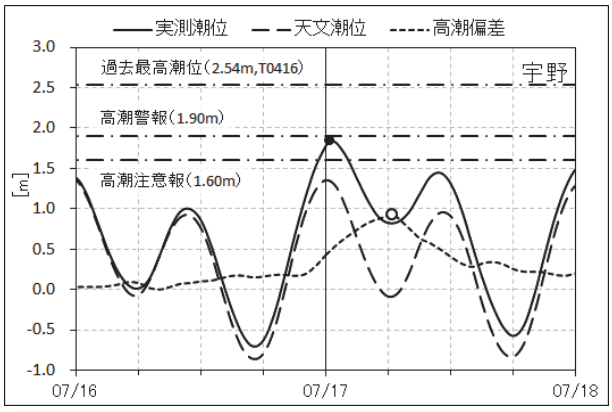


図-4.1　潮位記録（宇野港）
（実測潮位および天文潮位は T.P.基準）

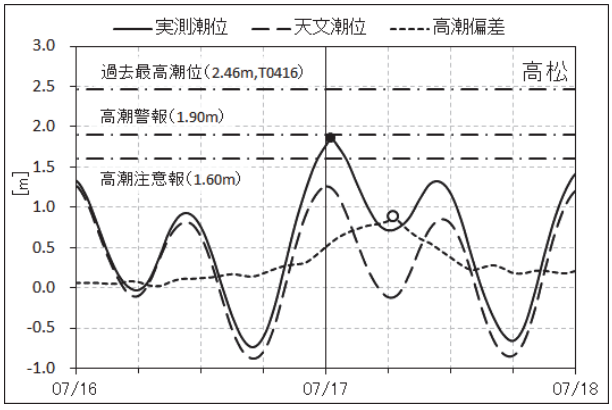


図-4.2　潮位記録（高松港）
（実測潮位および天文潮位は T.P.基準）

の最大値を記録した．もし，満潮時刻と重なっていれば，天文潮位と高潮偏差を合わせた合成潮位はT.P.+2.14mとなり，今回の実測潮位よりも約0.3m程度高く，より広い範囲に浸水被害が広がっていた可能性がある．

台風1511号の接近に伴い，高松港のある高松市には，7月15日21時20分に波浪注意報，翌16日13時に波浪警報および高潮注意報，同日15時27分に高潮警報を発表した．その後，高潮警報は，翌17日3時6分に高潮注意報に切り替わり，同日15時7分に解除された．波浪警報は，翌17日7時58分に波浪注意報に切り替わり，翌18日3時30分に解除された．

5. 現地調査概要

台風1511号に伴う高潮，波浪等による港湾地域の被害について，宇野港，高松港および坂出港を対象に，浸水痕跡等の測量および関係機関や住民への被害状況等のヒアリングの現地調査を実施した．

浸水痕跡の測量では，箱尺およびレーザー距離計

（Laser Technology 社製 Impuls200）を用いて，調査時の水位から地盤高，および，浸水痕跡またはヒアリングから得られた浸水位置を測量し，その後，対象港湾における調査時の検潮記録を用いて，浸水高（T.P.基準）を求めた．

現地調査は，2015年7月22日午後に宇野港およびその周辺地域，翌23日午前に坂出港，同日午後に高松港およびその周辺地域を調査する行程で，本稿の著者のうち，本多および内藤の2名で実施した．

6. 現地調査結果

6.1 宇野港およびその周辺地域

宇野港では，岡山県備前県民局建設部宇野港管理事務所の関係者へのヒアリングを実施するとともに，浸水被害が生じた船越水門周辺において，住民への浸水状況のヒアリングおよび痕跡調査を実施した．宇野港およびその周辺地域における調査地点の位置図を**図-6.1**に示す．

台風1511号の来襲時は，東からの風が非常に強く，宇野港管理事務所の庁舎の窓ガラスが揺れるほどであった．この東からの強風により，7月17日0時～1時の時間帯に，県営3号浮桟橋の屋根が飛ばされ（**写真-6.1**），約50m陸側の臨港道路に落下した（**写真-6.2**）．これに伴い，臨港道路の当該箇所では，通行止めの措置が取られた．

一方，臨港地区を巡回監視していた関係者によると，護岸前面での波浪による飛沫は確認されたが，越流もしくは越波による浸水は確認されなかった．この要因の1つは，潮位上昇が護岸の天端高まで到達しなかったことが挙げられる．また，宇野港の東側の海域には多くの島嶼が位置しているため，東からの風は非常に強かったにも関わらず，東からの波浪が発達しなかったことも要因の1つとして挙げられる．このため，台風0416号の際の宇野港での被災とは異なり，波浪による被害は生じなかった．

陸閘の管理については，高潮警報が発表（7月16日16時）されたことを踏まえ，同日17時台には陸閘を閉鎖し，高潮警報が高潮注意報に切り替わった（翌17日3時16分）ことを踏まえ，同日5時に陸閘を開放した．

宇野港の港湾施設の1つであり，汐入川の港湾への流入口に設置されている船越水門（**写真-6.3**および**写真-6.4**）について，この水門を境にして汐入川の上流側の家屋に床下浸水の被害が生じた．なお，この水門の看守人は個人となっている．

この床下浸水した家屋の住民が，当時の状況をメモしており，それによると**表-6.1**のとおりである．

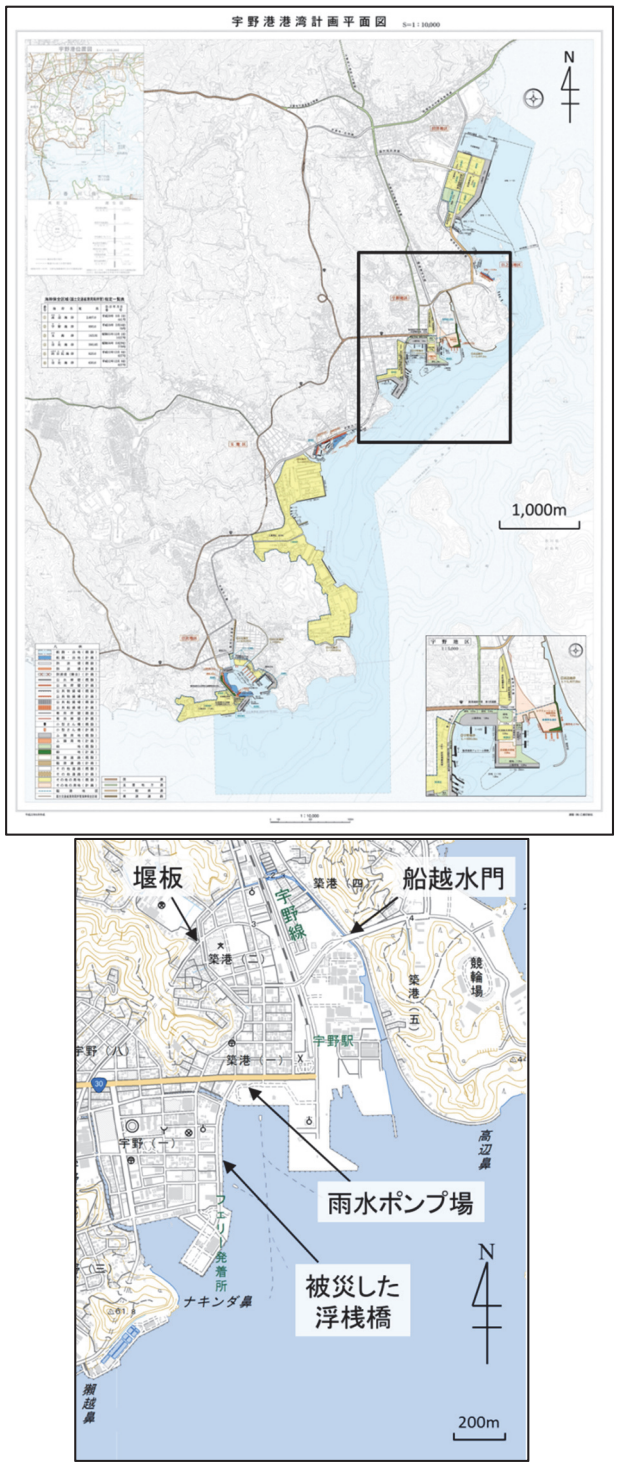


図-6.1 調査位置図（宇野港）
（上図：全体図，下図：上図内の枠線）
（地理院地図を加工して作成）

この住民の証言による浸水位置を測量した結果を**図-6.2**に示す．この民家での浸水高はT.P.+2.3mであり，宇野港の潮位記録による実測潮位の最大値T.P.+1.84mよりも約0.5mも高い．また，船越水門を境に，上流側の水位は海側の水位より0.4mほど高い時間帯があった，との住

民の証言もある．このことから，船越水門周辺での浸水被害は，台風1511号による高潮に伴う水位上昇ではなく，雨水に伴う内水位の上昇による溢水が原因であると考えられる．



写真-6.1　被災した浮桟橋（提供：宇野港管理事務所）



写真-6.2　臨港道路に落下した浮桟橋の屋根
（提供：宇野港管理事務所）



写真-6.3　船越水門（海側から撮影）

次に，この汐入川の集水域の概略を把握するため，上流を踏査したところ，**図-6.1**に示す箇所に，上流からの雨水を流下する方向を操作する堰板が確認された（**写真-6.5**）．写真中央に上流からの雨水の排水口があり，写真の左手側の下流には築港雨水ポンプ場，右手側の下流には船越水門がある．そのため，この堰板を排水口の左手側に設置すれば，上流からの雨水は船越水門の方向に



写真-6.4　船越水門（上流側から撮影）

表-6.1　住民による状況確認内容

日　時	状況等
7/17　0:05 頃	船越水門の閉鎖を確認．
0:30 頃	自宅前面において，道路の高さの 10cm 下まで水位が上昇．
0:33 頃	宇野港管理事務所に，水位の状況を連絡．
0:45 頃	自宅前面の道路に浸水開始．
1:25 頃	自宅前面の道路が，踝の高さまで冠水．
1:55 頃	自宅前面の道路が，膝下程度の高さまで冠水．
2:00 頃	自宅の敷地内への浸水を確認． 流入経路：汐入川→道路→自宅敷地内． 船越水門の内水面側の水位は，海側の水位より 40cm 高い．（水門に設置されている標尺により確認．内水面 2.8m，海水面 2.4m）
2:33 頃	玉野市災害本部に，状況を連絡．
2:45 頃	自宅前面の水位が引く． 船越水門の開放作業を確認．

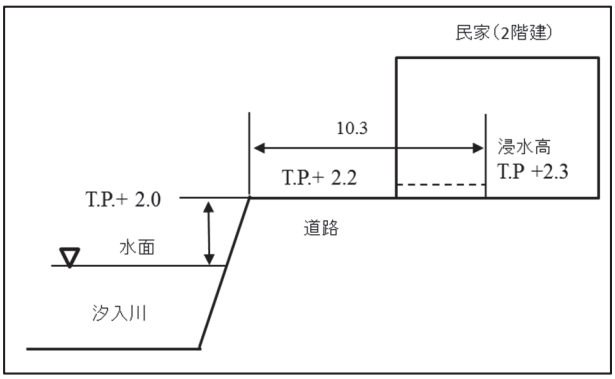


図-6.2　浸水位置の測量結果（船越水門周辺）



写真-6.5　汐入川上流部の堰板
（左手側：築港雨水ポンプ場，右手側：船越水門）

流下し，右手側に設置すれば，築港雨水ポンプ場の方向に流下する．船越水門周辺での浸水被害の発生時（7月17日）の堰板が，この写真の撮影時（7月22日）と同じ位置に設置されていたとすれば，上流からの雨水は船越水門の方向に流下していたことになる．

この堰板の運用管理については，原則，船越水門の方向に流下させることになっているが，大雨時において，玉野市の関係部署が協議し，築港雨水ポンプ場に余裕がある場合には，雨水ポンプ場の方向に流下させることがある．

6.2　高松港およびその周辺地域

高松港のある高松市では，台風0416号に伴う高潮による浸水が，9.8km^2（980ha）と広範囲に渡った．このときの死者は2名，床上・床下浸水は約15,561棟という甚大な被害が発生した．台風0416号が来襲した際の潮位記録では，過去最高潮位T.P.+2.46mを記録し，市街地の全面に位置する沿岸部だけではなく，市街地内を流れる河川（詰田川）からも浸水した．市街地に押し寄せた海水は，



写真-6.6　台風 0416 号来襲時の被害（地下道）

線路の下をとおる道路に流れ込み，そこに侵入した自家用車に被害が生じた（**写真-6.6**）．なお，高松港では，宇野港と比較して，波浪による影響は小さかった．

今回の台風1511号による高潮等の被害について，高松港では，四国地方整備局高松港湾・空港整備事務所の関係者へのヒアリングを実施するとともに，浸水被害が生じたフェリー乗場において，浸水痕跡調査を実施した．

台風1511号が来襲した際の潮位記録では，最高潮位がT.P.+1.85mであり，過去最高潮位を記録した台風0416号の際と比較して約0.6m低く，浸水被害は限定的であった．

高松港およびその周辺地域における調査地点の位置図を**図-6.3**に示す．

浸水した高松港のフェリー乗場およびその背後に設置された防潮壁を，それぞれ，**写真-6.7**および**写真-6.8**に示し，併せて，測量した地盤高および浸水高を**図-6.4**に示す．フェリー乗場の前面の岸壁から待合室の直前までは上り勾配であり，待合室の直前から背後の国道30号までは下り勾配となっている．岸壁の天端高はT.P.+1.7m，待合室の直前の地盤高はT.P.+1.9mである．待合室の浸水痕跡の場所では，地盤高がT.P.+1.6mおよび浸水高がT.P.+1.9mであり，浸水深は0.3mである．

フェリー乗場における浸水当時の報道映像を確認すると，穏やかな浸水面ではなく，波浪によって浸水面が波立っていた．また，高松港での潮位記録による最高潮位はT.P.+1.85mであり，待合室の直前の地盤高やその背後の浸水痕跡とほぼ同じ高さである．これらのことから，岸壁から待合室の直前までの浸水については，高潮による潮位上昇に伴う越流によるものであり，その背後の防潮壁までの浸水は，高潮に加わった波浪によるものであると考えられる．



図-6.3　調査位置図（高松港）（上図：全体図）
（中図：上図内の枠線東側，下図：上図内の枠線西側）
（地理院地図を加工して作成）



写真-6.7　浸水したフェリー乗場



写真-6.8　フェリー乗場背後の防潮壁

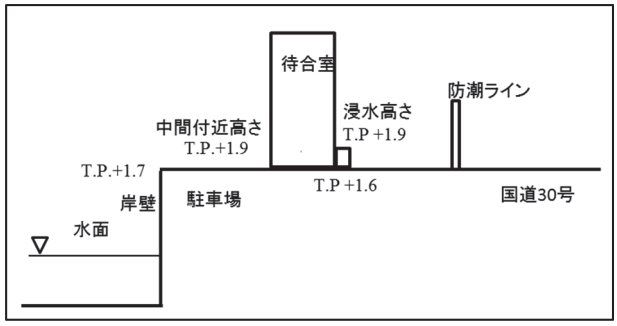


図-6.4　浸水痕跡測量結果（フェリー乗場）

フェリー乗場の背後の国道30号も冠水した．フェリー乗場と国道30号の間には防潮壁が設置されており，その天端高は浸水高よりも十分に高かった．なお，台風0416号が来襲した当時には，防潮壁は整備されていなかった．

国道とフェリー乗場の間には，自動車等の出入りのために防潮壁の開口部があるが，まだ，陸閘は設置されていない．しかし，当時は防潮壁の開口部に土嚢を設置していたため，この開口部から国道30号への浸水の可能性は低い．また，この周辺における防潮壁の踏査も行ったが，沿岸からの浸水経路となる箇所は確認できなかった．国道30号の冠水は，高い潮位によって雨水排水に支障が生じたことが原因とも考えられる．



写真-6.9　玉藻第一物揚場



写真-6.10　高松漁港①
（台風 1511 号来襲後）



写真-6.11　高松漁港②（防潮壁・陸閘整備前）
（台風 0416 号来襲後）



写真-6.12　高松漁港②（防潮壁・陸閘整備後）
（台風 1511 号来襲後）

高松港では，宇野港と比較して波浪が大きかった．そのため，フェリー乗場の西側にある高松港玉藻地区玉藻第一物揚場では，高潮位時に護岸前面で重複波となった波浪により，グレーチングに固定されていたマットが下から叩かれ飛散する被害が生じた（**写真-6.9**）．

高松港の内部に位置する高松漁港について，現地踏査を実施した．**図-6.3**内に示す高松漁港①の地点の様子を**写真-6.10**に示す．ここでは，防潮壁が整備されており，今回の台風1511号に伴う潮位上昇に対しては十分な天端高を有している．しかし，防潮壁の開口部の陸閘が未整備であり，また，一部の開口部には土嚢が設置されていなかった．住民の証言によると，台風1511号の来襲当時，この開口部において潮位上昇に伴う越流は発生しなかったが，7月17日0時前後に，越波によって，防潮壁から約30mのところの自宅前面の道路が約0.1m程度冠水したとのことであった．

高松漁港②の地点では，台風0416号の来襲当時は防潮壁等が整備されていなかったため（**写真-6.11**），広い範囲で浸水被害が発生した．しかし，今回の台風1511号の来襲時には，高松漁港①の地点と異なり，防潮壁のみならず，その開口部に陸閘が整備されていたため（**写真-6.12**），越波および越流による周辺地区への浸水は発生しなかった．

香川県では，台風0416号による高潮被害を踏まえ，防潮ラインの整備を進めており，当時と比較して防護水準は向上している．しかし，防潮壁の開口部における陸閘が未整備の場所もある．台風1511号の来襲時において，こういった陸閘未整備箇所のうち，土嚢設置の対応が取られていたところもあったが，中には対応が取られていないところもあり，限定的ではあるが浸水被害が生じた．

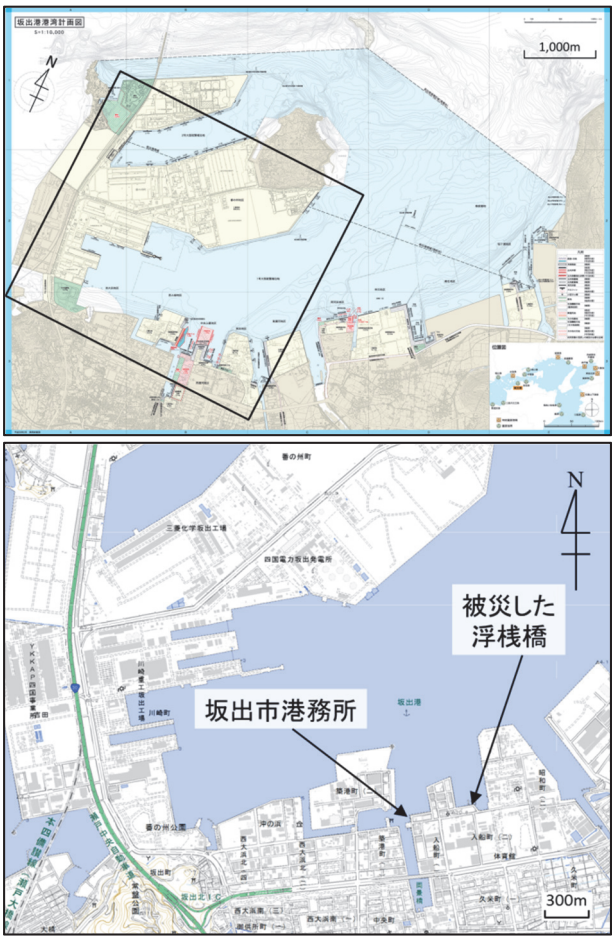


図-6.5　調査位置図（坂出港）
（上図：全体図，下図：上図内の枠線）
（地理院地図を加工して作成）

6.3　坂出港

坂出港では，坂出市港務局の関係者へのヒアリングを実施するとともに，越波による浸水痕跡調査を実施した．坂出港の地域は，宇野港および高松港と比較して地盤が高いため，台風0416号が来襲した際には，波浪が比較的小さかったため，岸壁背後の限定的な範囲に留まった．

坂出港において，今回の台風1511号では，台風0416号と比較して高潮に伴う潮位上昇が小さかったが，証言によると，波浪については大きかったとのことであった．このことから，浸水は越流ではなく越波によるものと考えられる．

坂出市港務所における浸水箇所および浸水痕跡測量結果を，それぞれ，**写真-6.13**および**図-6.6**に示す．ここでは，護岸の高さがT.P.+3.0mと高く，また，湛水による浸水痕跡ではなく，漂着物が流されてきた痕跡であるため，越波による浸水であると考えられる．越波の到達地点は，護岸から4.4mの地盤高T.P.+3.0mの地点であった．



写真-6.13　坂出市港務所の浸水箇所

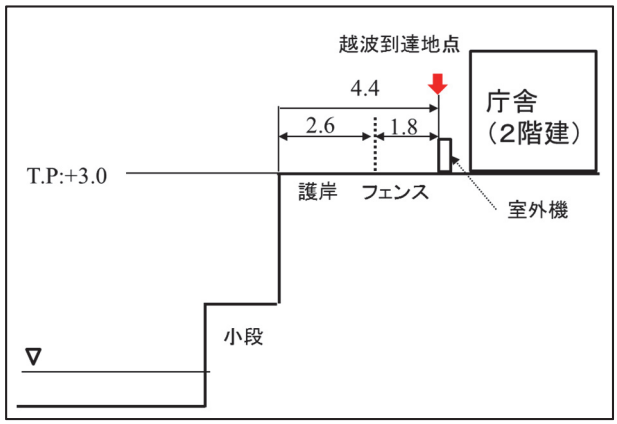


図-6.6　浸水痕跡測量結果（坂出市港務所）

坂出港中央埠頭地区では，浮桟橋の係留チェーンが切断し，また，浮桟橋が移動したことにより，浮桟橋への渡橋が落橋する被害が発生した（**写真-6.14**）．坂出市の調査によると，係留チェーンが切断した要因は，2つのチェーンが海中で腐食していた上に，海中で干渉して摩耗していたとのことである．台風1511号の来襲時の坂出港では，他港と比較して波浪が大きかったため，この波浪によって大きく浮桟橋が動揺し，海中で2つのチェーンの干渉による損傷が進んだことにより，切断に至ったものと考えられる．この被災した浮桟橋の背後には駐車場があり，そこで越波による漂着物を確認した．この越波の到達地点は，岸壁から15.1mの地盤高T.P.+2.9mの地点であった（**図-6.7**）．

坂出港における2箇所の越波到達地点の高さは，T.P.+2.9m～3.0mである．仮に，坂出港における潮位が，約18km離れた高松港における潮位（T.P.+1.85m）と同等であるとすると，越波によって潮位よりも1m前後高いところまで浸水したことになる．



写真-6.14　被災した浮桟橋

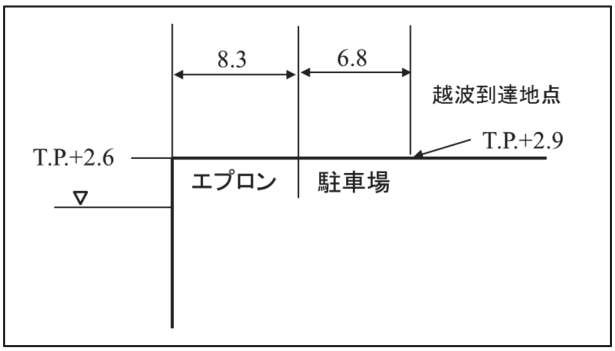


図-6.7　浸水痕跡測量結果（浮桟橋周辺）

坂出港は，閉鎖性が比較的高い港湾形状であり，また，北東部に開いた港口の先には，波浪を遮蔽する島が少ない．そのため，台風1511号による東北東からの強い風により発達した波浪が港内に来襲し，港奥で収斂することにより，他港と比較して波浪が大きかったと考えられる．

7. 高潮数値解析

宇野港および高松港は，非常に閉鎖性の高い瀬戸内海の中央部に位置し，また，非常に多くの島嶼が隣接する特徴がある．そのため，高潮数値解析において精度良く再現するためには，風の再現性や流れを妨げる地形の再現性の影響を強く受けるものと考えられる．

そこで，本稿では，宇野港および高松港を対象とした高潮偏差の再現性に対する風のモデルの影響，解析解像度の影響等について検討し，高潮予測を中心に高潮解析の課題を整理する．

7.1　台風モデル

MM5やWRF等の局地気象モデルを用いて，一定時間毎の気象庁客観解析値（GPV）をデータ同化させることで，台風に伴う気圧分布および風速分布の時間変化を，精度良く再現することができる．しかし，この手法は，長い解析時間を要するため，現時点での一般的な計算資源を踏まえると，迅速に高潮予測を行うには適切な手法ではない．

そこで，本稿では，高潮予測を中心に高潮解析の課題を整理することを目的としているため，台風来襲時に気象庁が発表する情報を用いて解析可能な経験的台風モデルを対象とする．なお，台風来襲時に気象庁が発表する台風に関する情報は，その時点での予報値および速報値である．これらの情報には，台風の中心位置および中心気圧，ならびに，予報円の中心位置および半径である．

台風の気圧分布は同心円と仮定し，式(7.1)に示すMyersの分布を与える．なお，本章内にある数式における各記号については，後述の記号表を参照されたい．

$$p(r) = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \tag{7.1}$$

このMyersの式に用いている最大風速半径r_0は，気象庁の発表する台風の情報には含まれていない．そこで，本稿では，台風の中心気圧から最大風速半径を評価する河合ら（2005b）の評価式である式を用いた．なお，加藤（2005）も同様に評価式を提案している．これらの評価式は，過去の台風について，気象官署の観測結果から得られる最大風速半径と中心気圧との関係を算出し，それらの近似曲線として導出したものである．しかし，これらの関係には台風毎でのばらつきが大きいため，注意が必要である（**付録D**）．

$$r_0 = 94.89 \exp\left(\frac{(p_c - 967)}{61.5}\right) \tag{7.2}$$

一般的な経験的台風モデルでは，自由大気における傾度風に起因する海上風と台風の移動に起因する海上の場の風をベクトル合成するものである．本稿では，このモデルを「ベクトル合成モデル」と呼ぶ．

自由大気における傾度風の風速U_{gr}は，式(7.3)で表される気圧傾度力，遠心力およびコリオリ力に関する力の釣合いの式（式(7.3)）から算出する（式(7.4)）．これに低減係数C_1=2/3を乗じて，傾度風に起因する海上風速U_1を求める（式(7.5)）．この風向は，等圧線の接線方向のうち台風の中心を基準として反時計回りの向きに対して，台風の中心に向かってα=30[deg.]だけ偏向する．本稿では，各係数の値を，とした．台風の移動に起因する海上の場

の風速U_2は，式(7.6)から算出する．この風向は，台風の移動方向と同じである．

$$\frac{1}{\rho_a}\frac{\partial p}{\partial r}=\frac{{U_{gr}}^2}{r}+fU_{gr} \tag{7.3}$$

$$U_{gr}=-\frac{rf}{2}+\sqrt{\left(\frac{rf}{2}\right)^2+\frac{\Delta p}{\rho_a}\frac{r_0}{r}\exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \tag{7.4}$$

$$U_1=C_1U_{gr} \tag{7.5}$$

$$U_2=C_2\frac{U_1(r)}{U_1(r_0)}V_T \tag{7.6}$$

本稿では，ベクトル合成モデルのほか，超傾度風（Super Gradient Wind）を再現するモデル（以下，「SGWモデル」という．）も用いる．台風の中心近くでは，風速場の3次元構造に起因して，海上風の風速が自由大気の風速と同じ程度もしくはそれ以上になることが知られており，超傾度風と呼ばれている．本稿では，河合ら（2005a）および河合・川口（2007）を参考に，式(7.7)から(7.13)で表されるモデルを採用した．なお，各種係数の値は，$C_1(\infty)$=2/3，X_p=1/2，k=2.5とした．

$$\frac{1}{\rho_a}\frac{\partial p}{\partial r}=\frac{{U_G}^2}{r}\left(1-\frac{V_T}{U_G}\sin\beta\right)+fU_G \tag{7.7}$$

$$U_G=-\frac{rf-V_T\sin\beta}{2}+\sqrt{\left(\frac{rf-V_T\sin\beta}{2}\right)^2+\frac{\Delta p}{\rho_a}\frac{r_0}{r}\exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \tag{7.8}$$

$$W=C_1(X)U_G \tag{7.9}$$

$$C_1(X)=C_1(\infty)+\left\{C_1(X_p)-C_1(\infty)\right\}\left(\frac{X}{X_p}\right)^{k-1}\times\exp\left[\left(1-\frac{1}{k}\right)\left\{1-\left(\frac{X}{X_p}\right)^k\right\}\right] \tag{7.10}$$

$$C_1(X_p)=\frac{2}{3}\left\{1+10^{(0.0231\Delta p-1.95)}\right\} \tag{7.11}$$

$$X={}^{r}/_{r_0} \tag{7.12}$$

$$\alpha=\max\left[0,\ \min\left[15,\ 30(X-0.5)\right]\right]\ [deg] \tag{7.13}$$

7.2　流体解析モデル

高潮の発生要因には，海面気圧の変化に伴う吸上げ効果，および，海上風による風応力によって発生する吹寄せ効果の2種類がある．これらの定常状態を静的に評価する簡易モデルもあるが，実際には，気圧も風も時間的に変化するものであり，この動的な効果を再現するためには，海水の流体運動を評価しなければならない．

高潮は，水深と比較して波長が非常に大きい現象であることから，海底から海面までの流速分布が一様であると仮定できる．そのため，本稿では，これらの仮定から得られる非線形長波方程式（式(7.14)～(7.18)）を用いて，高潮偏差の時間変化を算出する．また，海面応力等については，式(7.19)～(7.23)とした．なお，海面抵抗係数C_Dは，本多・光易（1980）による式を用いた．

$$\frac{\partial\eta}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0 \tag{7.14}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M^2}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{MN}{D}\right)=fN-gD\frac{\partial\eta}{\partial x}-\frac{D}{\rho_w}\frac{\partial p_0}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}-\tau_{bx}}{\rho_w}+A_h\left(\frac{\partial^2M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2M}{\partial y^2}\right) \tag{7.15}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{MN}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N^2}{D}\right)=-fM-gD\frac{\partial\eta}{\partial y}-\frac{D}{\rho_w}\frac{\partial p_0}{\partial y}+\frac{\tau_{sy}-\tau_{by}}{\rho_w}+A_h\left(\frac{\partial^2N}{\partial x^2}+\frac{\partial^2N}{\partial y^2}\right) \tag{7.16}$$

$$M=\int_{-h}^{\eta}udx \tag{7.17}$$

$$N=\int_{-h}^{\eta}vdy \tag{7.18}$$

$$\tau_{sx}=\rho_aC_DW_x\sqrt{W_x^2+W_y^2} \tag{7.19}$$

$$\tau_{sy}=\rho_aC_DW_y\sqrt{W_x^2+W_y^2} \tag{7.20}$$

$$\tau_{bx}=\frac{\rho_wgn^2}{D^{7/3}}M\sqrt{M^2+N^2} \tag{7.21}$$

$$\tau_{by}=\frac{\rho_wgn^2}{D^{7/3}}N\sqrt{M^2+N^2} \tag{7.22}$$

$$C_D=\begin{cases}(1.290-0.024W)/10^3 & (W<8)\\ (0.581+0.063W)/10^3 & (W\geq 8)\end{cases} \tag{7.23}$$

7.3　解析条件

解析における空間解像度については，2種類のケースを実施した．1つは予測解析用の粗いケースで，最小解像度は1,800mである．もう1つは再現解析用の詳細なケースであり，最小解像度は25mである．両ケースとも，

沖合の広い領域から対象とする海域の狭い領域まで，ネスティングして接続している．これらのケースにおける領域設定の諸条件を，**表-7.1**および**表-7.2**に示し，領域のレイアウトを，**図-7.1**および**図-7.2**に示す．

表-7.1　領域設定（予測解析）

領域番号	格子間隔 [m]	格子数	
		東西方向	南北方向
1	32,400	58	57
2	16,200	74	40
3	5,400	117	65
4	1,800	270	145
合　計		53,021 セル	

表-7.2　領域設定（再現解析）

領域番号	格子間隔 [m]	格子数	
		東西方向	南北方向
1	12,150	142	120
2	4,050	168	147
3	1,350	147	153
4	1,350	126	69
5	450	387	213
6	450	240	186
7	150	390	384
8	50	390	285
9	25	560	278
合　計		616,582 セル	

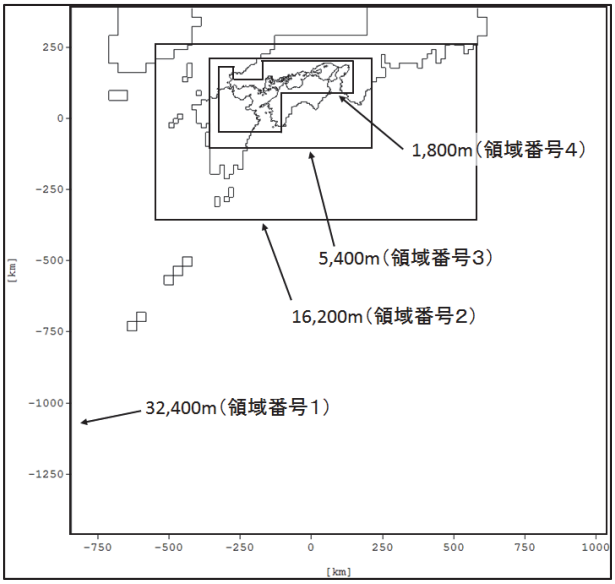
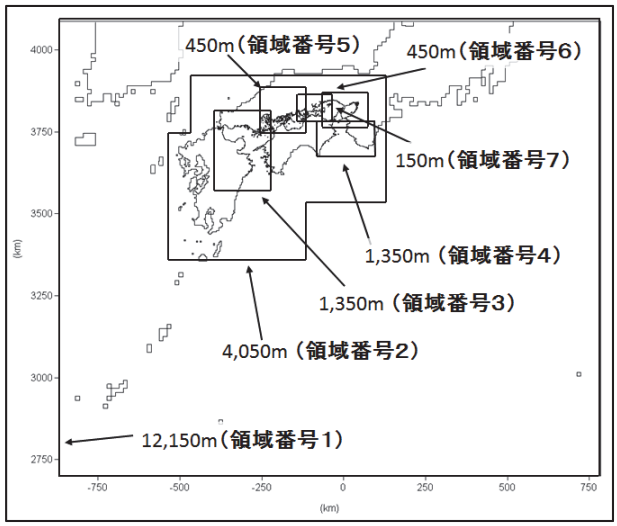
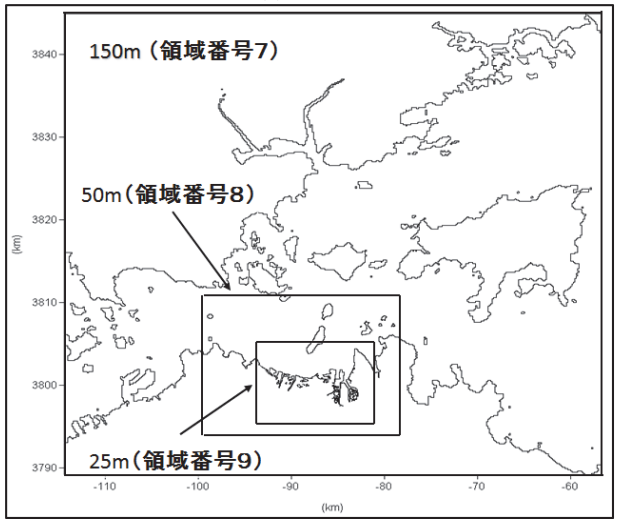


図-7.1　解析領域（予測解析）

予測解析用の計算セルの合計は5万セル程度であり，再現解析用の計算セルの合計は，その12倍近くの62万セル程度である．計算時間ステップΔtは，解析が安定する条件を満たす必要があり，空間解像度および水深に依存する．そのため，予測解析用の時間ステップは7.5sであるのに対し，再現解析用の時間ステップは1.0sとした．これらの計算セル数および時間ステップの違いにより，解析時間も異なる．本稿では，約 5 日間の現象の再現を対象にしたが，予測解析および再現解析における解析時間は，それぞれ，4 分および 458 分であった．なお，計算機のスペックは，Intel(R) Core(TM) i7-3770 3.40GHz，メモリ 16.0GB であり，コンパイラは，Intel® Parallel Studio XE 2015 Composer Edition for Fortran Windows を用いた．



(a) 広域



(b) 詳細

図-7.2　解析領域（再現解析）

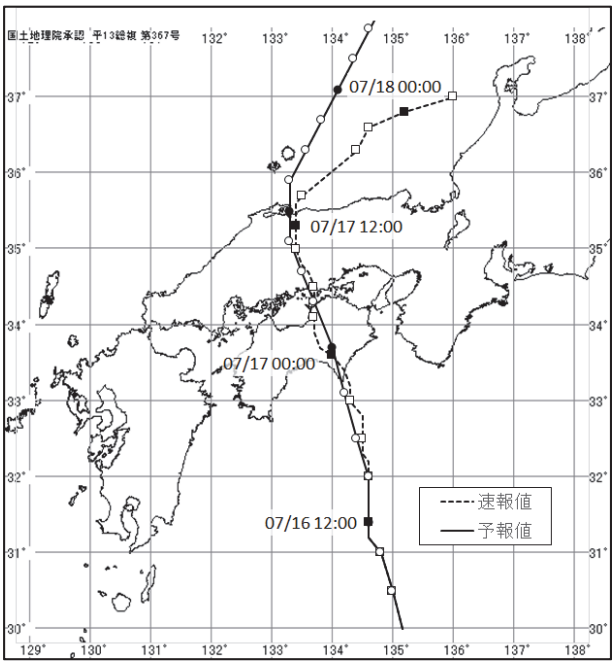


図-7.3　台風経路（予報値・速報値）

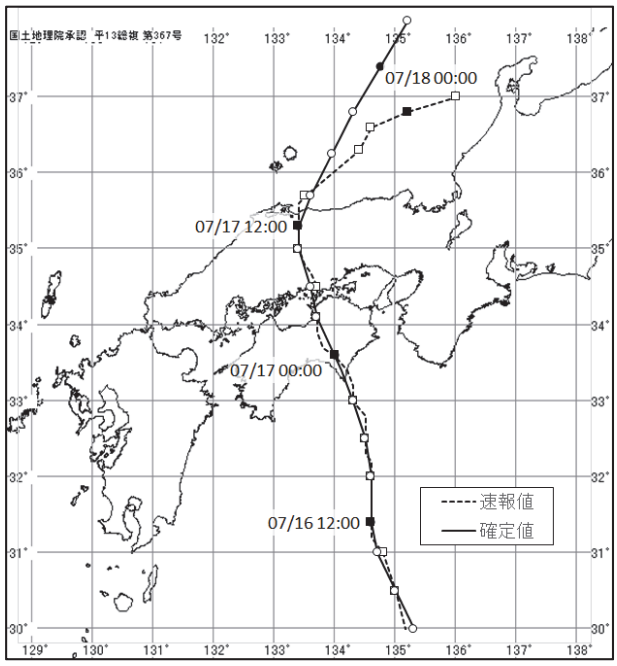


図-7.5　台風経路（確定値・速報値）

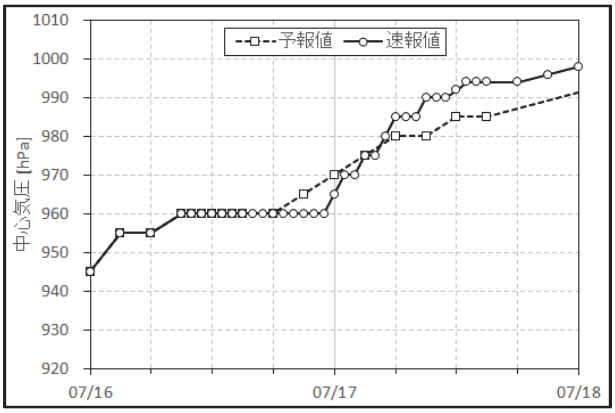


図-7.4　中心気圧（台風接近時）
（予報値・速報値）

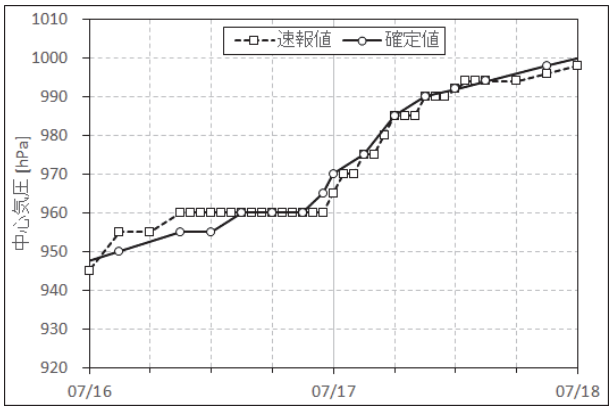


図-7.6　中心気圧（台風接近時）
（確定値・速報値）

台風の諸条件については，台風1511号における気象庁の3種類の発表値を用いた．1つは，気象庁が事後解析を実施して発表する確定値，もう1つは，台風来襲時に，それまでの台風の情報として発表する速報値である．

また，残りの1つは，予報値（2015年7月16日16時時点）であり，本稿では，7月16日15時までの情報は速報値とし，それ以降については，予報円の中心を台風の中心位置と仮定した予報値を用いた．台風1511号に関する，これら3つの台風情報の詳細については，**付録A**に掲載している．

この気象庁が発表する台風情報の確定値，速報値および予測値については，その情報の時間解像度が異なることに注意が必要である．台風が日本に接近したときの時

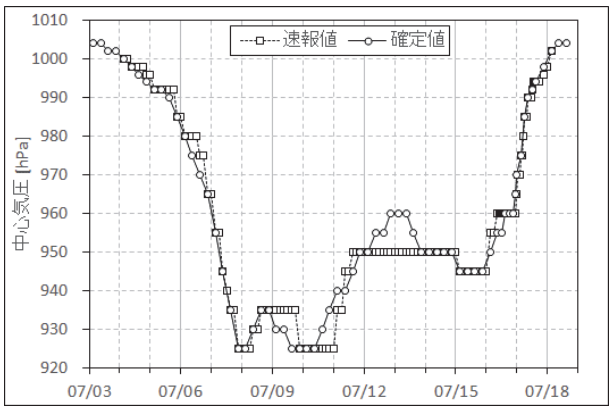


図-7.7　中心気圧（台風発生から消滅まで）
（確定値・速報値）

間解像度は，確定値および予報値の場合には 3 時間であり，速報値の場合には 1 時間である．

台風1511号の予報値および速報値の比較を，**図-7.3**および**図-7.4**に示し，速報値と確定値の比較を，**図-7.5**～**図-7.7**に示す．

予報値と速報値との比較では，予報時点の7月16日15時までは同じ値であるが，それ以降は，中心気圧や経路に差異が認められる．とくに，今回の対象港湾である宇野港および高松港は，台風の中心が約20～30kmと近くを通過しているため，気圧のみならず，この中心位置の差の影響は大きくなると推測される．

速報値と確定値との比較では，台風情報の時間解像度が異なることから，台風中心が最接近した時点における台風中心から対象港湾までの距離が約10kmの差となる．

なお，予報値および速報値については，0.1度単位で解析している結果を，台風の中心位置を5分単位で発表しているため，注意が必要である．詳細は，**付録E**に掲載している．

本稿における解析ケースは，台風情報が3ケース，空間解像度2ケース，台風モデル2ケースである（**表-7.3**）．また，解析結果の検証における対象港湾は，本稿の対象港湾のうち，気象庁が潮位記録の確定値を公表している宇野港および高松港とした．

表-7.3　解析ケース

項　目	ケース数	種　類
台風情報	3	予報値，速報値，確定値
空間解像度	2	予測用(1,800m) 再現用(25m)
台風モデル	2	ベクトル合成モデル SGW モデル

7.4　台風情報による影響

本節では，予測段階での台風情報による影響を確認するため，予報値，速報値および確定値を用いた解析結果を比較する．なお，解析の最小空間解像度は1,800mで，予測解析用の領域設定を用いた．また，台風モデルは，ベクトル合成モデルとした．

宇野港および高松港における高潮偏差の解析結果および潮位記録（観測結果）を，**図-7.8**および**図-7.9**に示す．

宇野港における観測値によると，7月17日6時24分に最大高潮偏差0.93mを記録した．一方，解析値については，予報値では0.95m(4時00分)，速報値では0.97m(4時20分)，確定値では0.91m(7時00分)である．

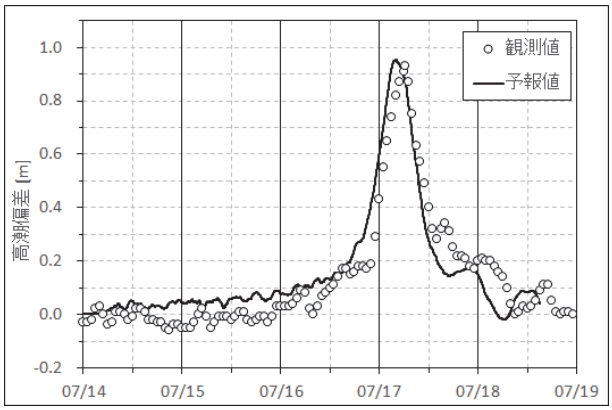
高松港における観測値によると，7月17日6時30分に最大高潮偏差0.88mを記録した．一方，解析値については，予報値では0.81m(3時40分)，速報値では0.84m(4時50分)，確定値では0.78m(4時10分)である．

いずれのケースにおいても，両港の観測値と解析値について，最大高潮偏差の起時に差異が認められる．

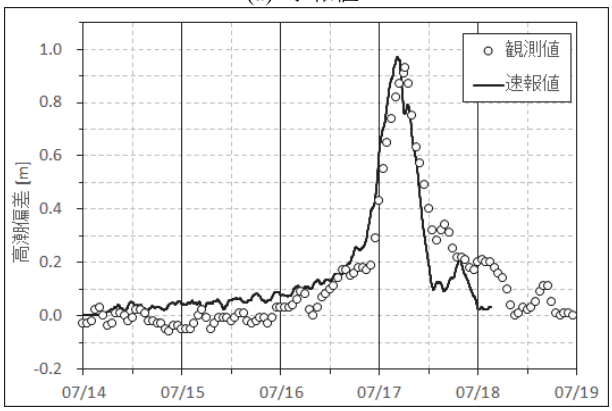
浸水の有無に関連する高潮偏差の最大値については，宇野港における解析結果は，いずれも再現性が高く，高松港については，速報値の再現性が最も良く，予報値および確定値の再現性が低くなっている．台風の中心が非常に近くを通過しているため，中心経路の差異や中心気圧の差異の影響が大きくなったと考えられる．

気象庁の事後解析による確定値は信頼性が高いものであるが，一方で，時間解像度が速報値より粗い．今回の台風1511号については，対象港湾に近い時間帯については，速報値は確定値とほぼ同じであるため，速報値も信頼性は高いと考えられる．また，速報値の方が確定値と比較して時間解像度が高い．これらのことから，台風1511号については，時間解像度が高く，かつ，信頼性が高い速報値を用いた解析結果が，その再現性が最も高かったと考えられる．

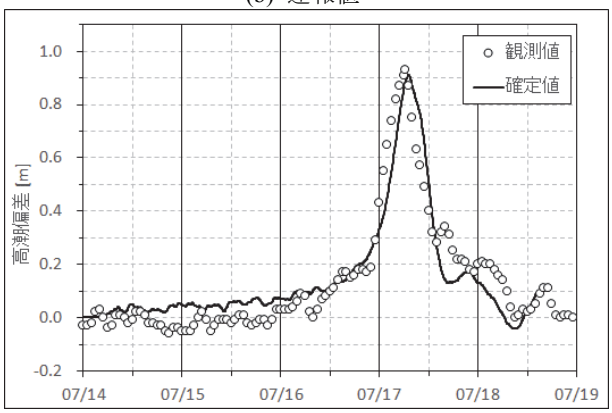
これらのことから，予測解析を実施する際には，中心位置および中心気圧の予測値に含まれる不確実性を考慮する必要性がある．また，確定値を用いる際には，日本に台風が接近したときの時間解像度の影響に注意が必要である．



(a) 予報値

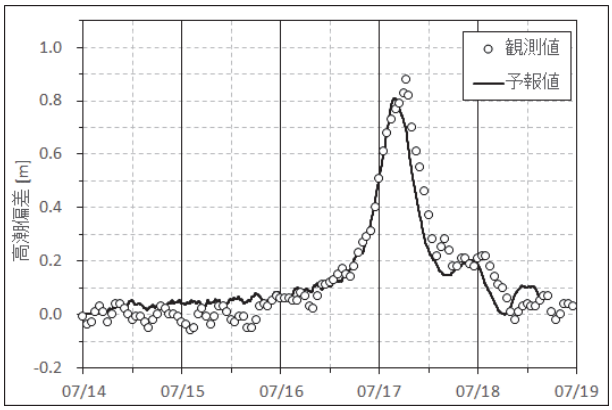


(b) 速報値

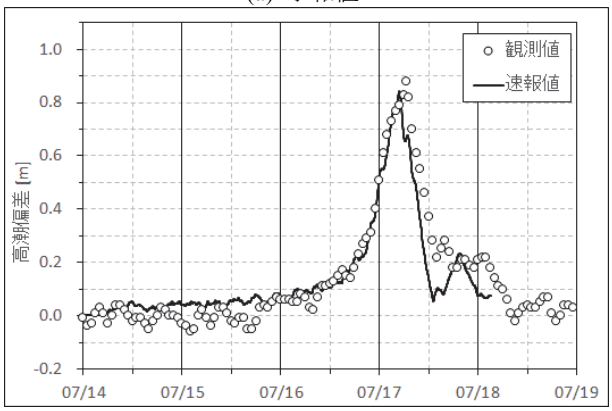


(c) 確定値

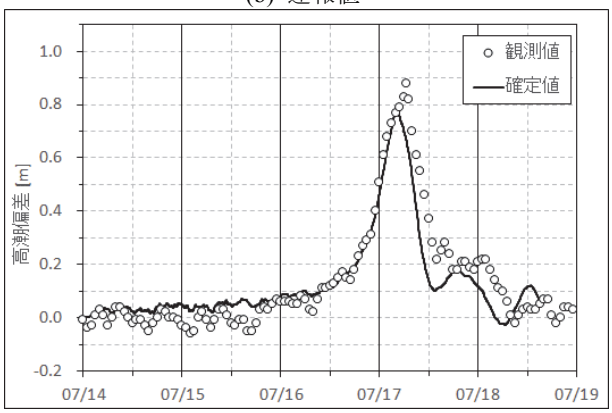
図-7.8　宇野港における高潮偏差の観測値および解析結果（最小解析解像度 1,800m）



(a) 予報値



(b) 速報値



(c) 確定値

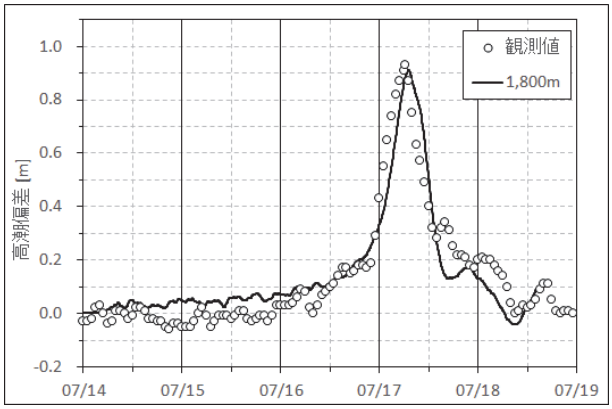
図-7.9　高松港における高潮偏差の観測値および解析結果（最小解析解像度 1,800m）

7.5 解析解像度による影響

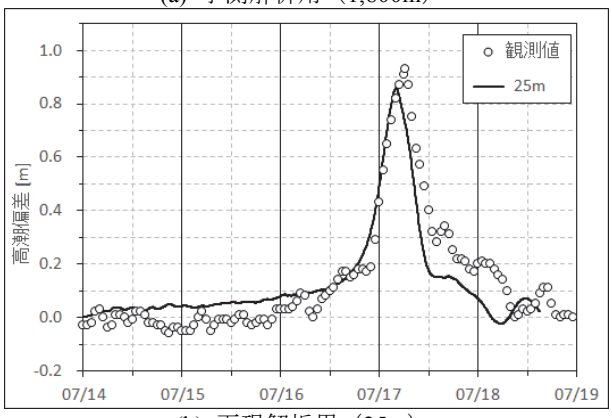
本節では，解析の空間解像度による影響を確認するため，予測解析用および再現解析用の領域設定を用いた解析結果を比較する．なお，台風モデルは，ベクトル合成モデルとした．また，台風の情報は，確定値を用いた．

宇野港および高松港における高潮偏差の解析結果および潮位記録（観測結果）を，**図-7.10**および**図-7.11**に示す．

宇野港における最大高潮偏差の観測値0.93m(7月17日6時24分)に対し，解析値については，予測解析用解像度では0.91m(7時00分)，再現解析用解像度では0.86m(4時05分)である．



(a) 予測解析用（1,800m）



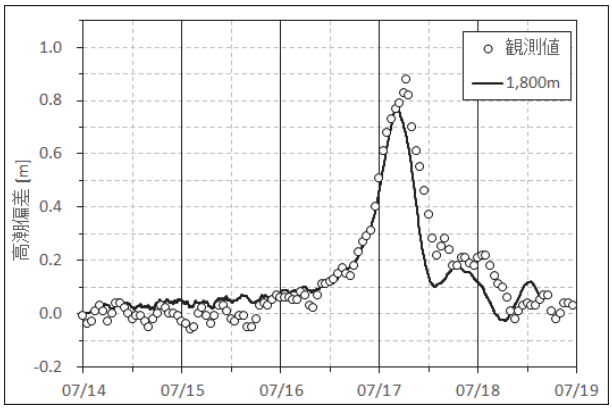
(b) 再現解析用（25m）

図-7.10 宇野港における高潮偏差の観測値および解析結果（確定値）

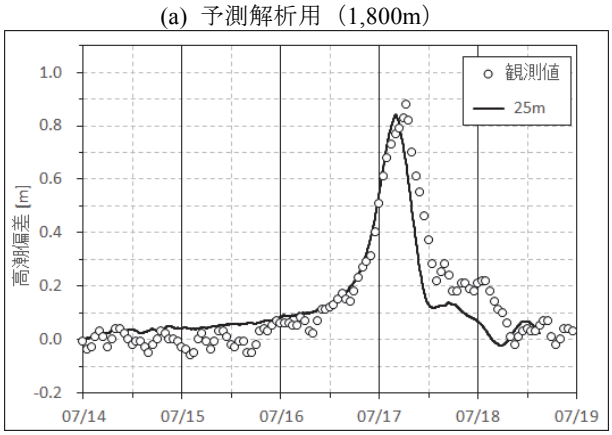
高松港における最大高潮偏差の観測値0.88m(7月17日6時30分)に対し，解析値については，予測解析用解像度では0.78m(4時10分)，再現解析用解像度では0.84m(4時00分)である．

高潮偏差の最大値については，宇野港の解析結果では，予測解析用解像度の解析結果の方の再現性が良く，高松港については，再現解析用解像度の方の再現性が良い．

これらのことから，宇野港および高松港については，沿岸での高潮偏差を対象とする場合には，解析の空間解像度を詳細にしても，再現性が向上するとは限らない．なお，浸水を対象とする場合には，浸水過程を明らかにするためには，詳細な空間解像度とすることに注意が必要である．



(a) 予測解析用（1,800m）



(b) 再現解析用（25m）

図-7.11 高松港における高潮偏差の観測値および解析結果（確定値）

7.6　台風モデルによる影響

本節では，台風モデルによる影響を確認するため，ベクトル合成モデルおよびSGWモデルを用いた解析結果を比較する．なお，解析の最小空間解像度は25mで，再現解析用の領域設定を用いた．また，台風の情報は，確定値とした．

宇野港および高松港における高潮偏差の解析結果および潮位記録（観測結果）を，**図-7.12**および**図-7.13**に示す．

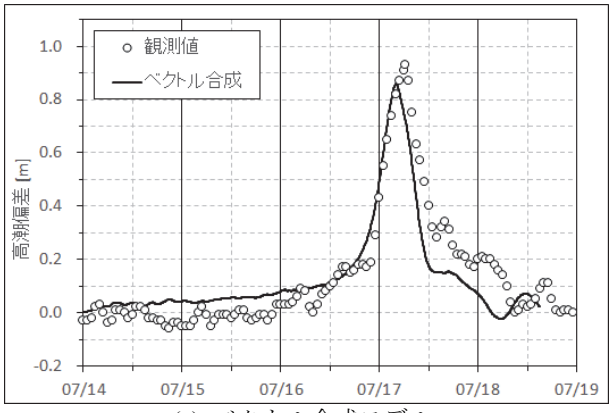
宇野港における最大高潮偏差の観測値0.93m(7月17日6時24分)に対し，解析値については，ベクトル合成モデルでは0.86m(4時05分)，SGWモデルでは0.78m(4時00分)である．

高松港における最大高潮偏差の観測値0.88m(7月17日6時30分)に対し，解析値については，ベクトル合成モデルでは0.84m(4時00分)，SGWモデルでは0.75m(4時00分)である．

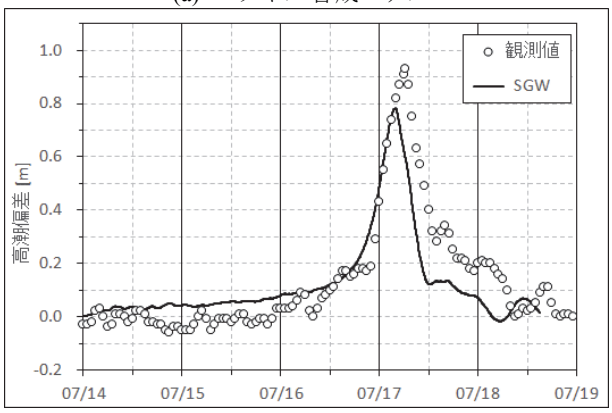
高潮偏差の最大値については，宇野港の解析結果では，SGWモデルの方の再現性が低く，また，高松港についても同様の傾向である．

台風1511号は，その中心が対象港湾に非常に接近したため，一般的には，台風中心近くの風の再現性に大きく影響する．そのため，台風中心近傍で風速を過小評価するベクトル合成モデルよりも，台風中心の風の3次元構造をモデル化したSGWモデルの解析結果の方が，再現性が高いと考えられる．しかし，今回の比較によると，SGWモデルによる解析結果の方が，再現性が低いものとなった．

これらのことから，台風中心の3次元構造の風を表現できる理論的に高度なSGWモデルであっても，精度が高いとは限らないことが分かる．

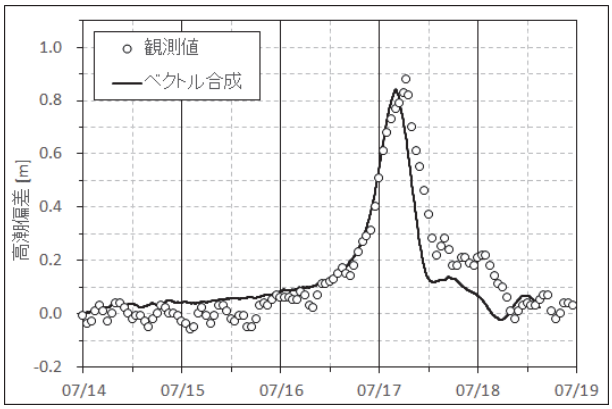


(a) ベクトル合成モデル

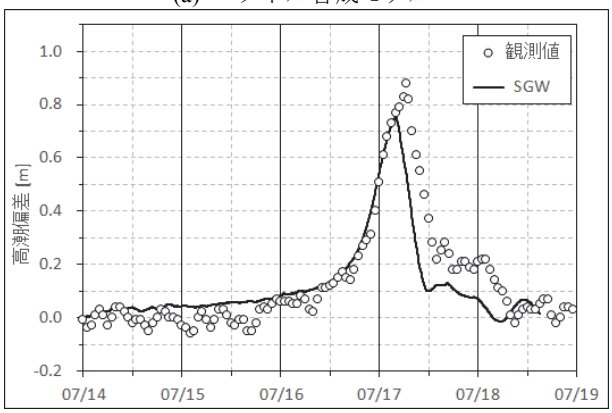


(b) SGW モデル

図-7.12　宇野港における高潮偏差の観測値および解析結果（確定値，最小解析解像度 25m）



(a) ベクトル合成モデル



(b) SGW モデル

図-7.13　高松港における高潮偏差の観測値および解析結果（確定値，最小解析解像度 25m）

8. まとめ

台風1511号による高潮や越波による浸水被害および港湾施設被害について，宇野港，高松港，坂出港，およびその周辺地区を対象に現地調査を実施した．また，宇野港および高松港を対象とした高潮偏差の再現性に対する台風情報の影響，台風モデルの影響，解析解像度の影響について検討を実施した．これらの，主要な結果は以下のとおりである．

宇野港および高松港における台風1511号による最高潮位は，それぞれ，T.P.+1.84mおよびT.P.+1.85mであり，台風0416号のときに記録した過去最高潮位よりも0.6m～0.7mほど低かった．両港とも，最大高潮偏差が発生した時刻が干潮に重なっていたが，もし満潮と重なっていれば，これらよりも0.3m～0.4mほど高いものとなり，浸水が広い範囲に渡る可能性もあった．

宇野港およびその周辺では，東よりの強風による浮桟橋の屋根が飛散する被害が生じたが，波浪による被害は発生しなかった．これは，東側には多くの島嶼があることから，波浪の発達は比較的弱かったものと考えられる．高潮および波浪による沿岸部からの浸水被害は発生しなかったが，水門閉鎖による内水側の溢水によって浸水被害が生じた．

高松港およびその周辺では，高潮による高潮位に波浪が加わったため，越流および越波による浸水が確認された．高松市が広い範囲で浸水した台風0416号による高潮の経験から，防潮ラインの整備が進んでいるが，陸閘が未整備の開口部において，越波による浸水が確認された．

坂出港では，現地調査した他港と比較して地盤は高いが，来襲した波浪が大きかったため，越波による浸水が確認された．

高潮数値解析については，台風の中心が非常に近くを通過する港湾を対象とする場合，中心経路および中心気圧の差異の高潮解析結果に与える影響が大きい．

解析解像度を細かくしても，高潮解析の再現精度が向上するとは限らない．また，台風中心の3次元構造の風を表現可能な超傾度風（Super Gradient Wind）モデルであっても，ベクトル合成モデルよりも高潮解析の再現精度が高いとは限らない．

9. あとがき

高潮予測解析を実施する際には，予測段階での中心位置，中心気圧および最大風速半径の不確実性を考慮する必要がある．また，台風の転向点が予測段階に含まれている場合には，その不確実性は大きくなることに注意が必要である．さらに，瀬戸内海では地形が複雑であることから，地形の影響を踏まえた風場の予測について，検討が必要である．

高潮に備えて水門を閉鎖する場合には，海面水位と内水位の双方を考慮した水門管理が必要である．水門管理は，近隣の住民個人に委託している場合もあり，閉鎖するだけが管理ではなく，内水位が高くなれば開放することも周知する必要性がある．

防潮ラインの連続性は重要であるが，防潮ラインの未整備区間については，土嚢を設置する主体やタイミングを予め決めることが大切である．

（2016 年 2 月 16 日受付）

謝辞

最後に，現地調査の実施および資料収集にあたり，中国地方整備局宇野港湾事務所，岡山県備前県民局建設部宇野港管理事務所，四国地方整備局港湾空港部，四国地方整備局高松港湾・空港整備事務所および坂出市建設経済部みなと課の皆様にご協力いただきました．ここに記して，深く御礼を申し上げます．

参考文献

岡山地方気象台（2015）：岡山県の気象（平成 27 年 7 月），20p.

加藤史訓（2005）：高潮危険度評価に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.275，108p.

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，港湾空港技術研究所報告，Vol.42, No.3, pp.85-110.

河合弘泰・富田孝史・平石哲也・安田誠宏（2005a）：台風 0314 号による大韓民国馬山湾の高潮の現地調査と数値計算，港湾空港技術研究所報告，Vol.44, No.2，pp.3-22.

河合弘泰・本多和彦・富田孝史・柿沼太郎（2005b）：2004 年の台風の特性と高潮の予測・再現計算，港湾空港技術研究所資料，No.1103，34p.

河合弘泰・川口浩二（2007）：内湾の高潮推算への台風ボーガスと局地気象モデルの適用性，港湾空港技術研究所報告，Vol.44，No.2，pp.43-86.

気象庁：各月の潮汐，http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/gaikyo/index.php，2016 年 1 月 7 日時点.

気象庁：過去の台風資料，

http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html，2016 年 1 月 7 日時点.

気象庁：台風情報，http://www.jma.go.jp/jp/typh/index.html，2015 年 7 月 18 日時点.

気象庁：潮汐観測資料，http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/genbo/index.php，2016 年 1 月 7 日時点.

気象庁：予報業務許可事業者に対する指導について，気象庁報道発表資料（平成 22 年 1 月 28 日）.

気象庁予報部：台風に関する解説の留意点，第２回予報業務許可事業者講習会資料（平成 22 年４月 23 日），気象庁.

国土交通省：災害・防災情報，http://www.mlit.go.jp/saigai/index.html，2016 年 1 月 7 日時点.

高松市：台風 16 号による被害状況（平成 16 年 8 月 30 日），http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/4494.html，2016 年 1 月 7 日時点.

高松地方気象台（2015）：香川県の気象（平成 27 年 7 月），19p.

富田孝史・本多和彦・河合弘泰・柿沼太郎（2005a）：2004 年台風 16 号による高松の高潮浸水被害，海岸工学論文集，Vol.52，pp.1326-1330.

富田孝史・本多和彦・河合弘泰・熊谷兼太郎（2005b）：2004 年台風 16 号による高松の高潮浸水被害とその数値解析，港湾空港技術研究所資料，No.1104，28p.

内閣府：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による被害状況等について(台風 18 号等による大雨に係る被害等を含む)，http://www.bousai.go.jp/updates/h27typhoon18/，2016 年 1 月 12 日時点.

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.

Mitsuta, Y. and T. Fujii（1987）：Analysis and synthesis of typhoon wind pattern over Japan，*Bulletin Disaster Prevention Research Institute*，Kyoto University，Vol.37，Part4，No.329，pp.169-185.

RSMC Tokyo-Typhoon Center：Best Track Data，http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html，2016 年 1 月 7 日時点.

記号表

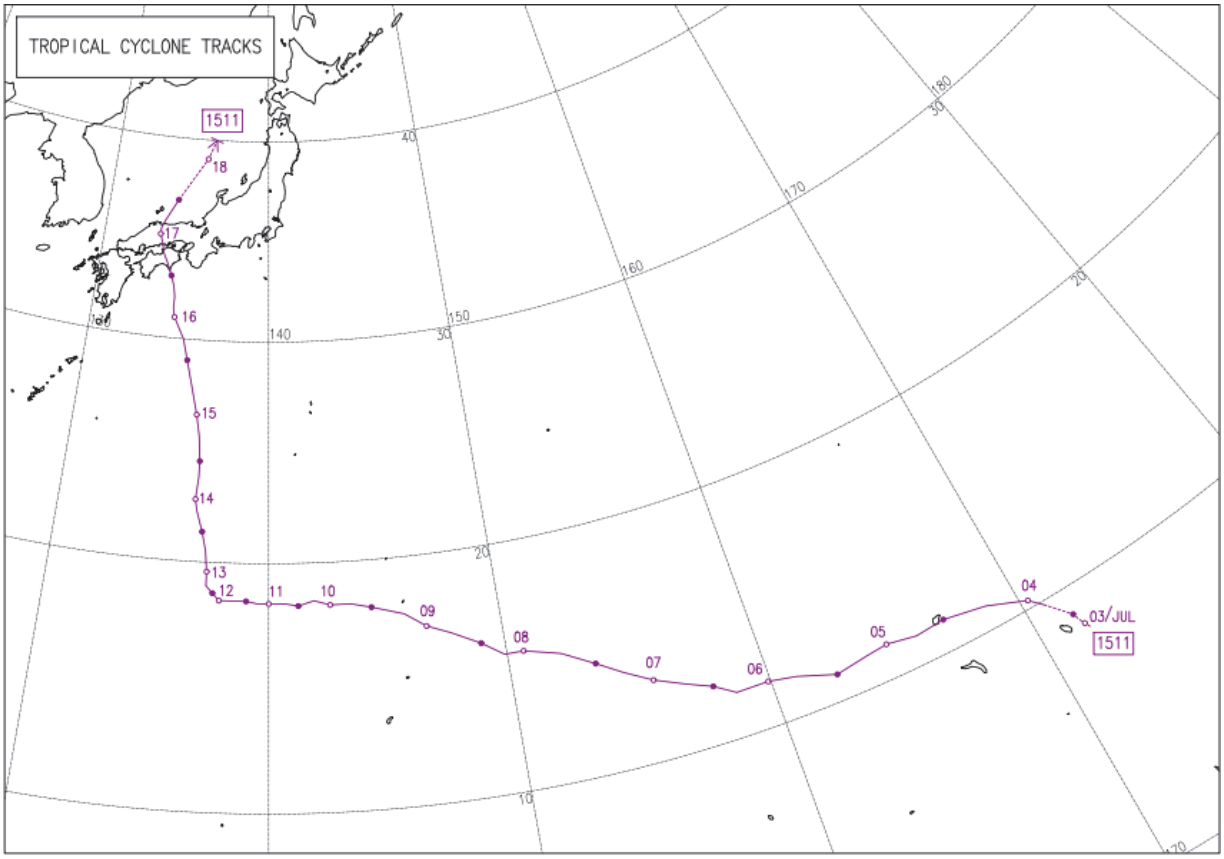
A_h	：	水平渦動粘性係数
C_D	：	海面抵抗係数
$C_1(X)$	：	風速低減係数
$C_1(X_p)$	：	風速低減係数の最大値
$C_1(\infty)$	：	無限遠での風速低減係数
D	：	全水深（$=h+\eta$）
f	：	コリオリの係数
g	：	重力加速度
h	：	水深
M	：	x方向の流量フラックス
N	：	y方向の流量フラックス
n	：	Manningの粗度係数
$p(r)$	：	気圧
p_0	：	海面での大気圧
p_c	：	台風の中心気圧
p_∞	：	台風の中心気圧
Δp	：	気圧深度（$=p_\infty-p_c$）
r	：	台風の中心からの距離
r_0	：	Myersの気圧分布における強風半径（気圧傾度が最大となる半径）
t	：	時間
Δt	：	時間間隔
u	：	x方向の流速成分
U_1	：	傾度風に起因する海上風速
U_2	：	台風の移動に起因する海上風速
U_G	：	自由大気における風速（台風の移動の効果を含む）
U_{gr}	：	自由大気における風速（台風の移動の効果を除く）
v	：	y方向の流速成分
V_T	：	台風の移動速度
W	：	海上風速
W_x	：	x方向の海上風速成分
W_y	：	y方向の海上風速成分
x	：	水平方向にとった座標系
X	：	台風の中心からの無次元距離（$=r/r_0$）
X_p	：	風速低減係数を最大とするX
y	：	水平方向にとった座標系
z	：	鉛直方向にとった座標系
α	：	海上風の偏向角
β	：	対象地点の台風進行方向からみた角度
η	：	潮位偏差
ρ_a	：	大気の密度
ρ_w	：	海水の密度

τ_{bx} ： x方向の底面せん断応力成分
τ_{by} ： y方向の底面せん断応力成分
τ_{sx} ： x方向の海面せん断応力成分
τ_{sy} ： y方向の海面せん断応力成分

付録A　台風1511号の諸元

気象庁による台風1511号の事後解析結果のベストトラックを**図-A. 1**に示す.

台風1511号の中心位置および中心気圧について，本稿の高潮解析で用いた確定値，速報値および予報値を，それぞれ**表-A.1**，**表-A. 2**および**表-A. 3**に示す．確定値は気象庁による事後解析結果であり，速報値は台風来襲直後での気象庁による速報解析結果である. 予報値は, 2015年7月16日16時時点において気象庁から発表された値を用いており, 2015年7月16日15時までは気象庁による速報解析結果，2015年7月16日18時からは気象庁の予測結果を用いている．なお，本稿の高潮解析での予報値では，予測結果の予報円の中心位置を台風の中心位置と仮定している.



経路の実線は台風の区間を表し，破線は熱帯低気圧または温帯低気圧の区間を表す.
経路上の傍らにある数字は日を表す.
経路上の〇印および●印は，それぞれ当該日の午前 9 時および午後 9 時の位置を表す.
経路の終端の→｜は消滅を表す.

図-A. 1　台風 1511 号のベストトラック（気象庁 HP からの引用）

表-A.1　確定値

日本時間				中心位置 [度]		中心気圧
年	月	日	時	北緯	東経	[hPa]
2015	7	4	3	9.8	170.8	1000
			9	10.3	170.3	998
			15	10.9	168.8	996
			21	11.2	167.1	994
		5	3	11.1	165.9	992
			9	11.3	164.7	992
			15	11.2	163.8	990
			21	11.0	162.5	985
		6	3	11.5	161.0	980
			9	11.7	159.9	975
			15	11.7	158.6	970
			21	12.2	157.8	965
		7	3	12.6	156.8	955
			9	13.1	155.6	945
			15	13.7	154.5	935
			21	14.3	153.5	925
		8	3	15.0	152.2	925
			9	15.4	150.7	930
			15	15.4	149.9	935
			21	16.0	149.0	935
		9	3	16.6	147.8	930
			9	17.0	146.8	930
			15	17.6	145.9	925
			21	18.0	144.5	925
		10	3	18.2	143.6	925
			9	18.2	142.7	925
			15	18.4	142.0	930
			21	18.2	141.3	935
		11	3	18.3	140.7	940
			9	18.3	140.0	940
			15	18.3	139.5	945
			21	18.4	139.0	950
		12	3	18.4	138.4	950
			9	18.4	137.8	955
			15	18.6	137.6	955
			21	18.7	137.5	960
		13	3	19.0	137.2	960
			9	19.6	137.2	960
			15	20.5	137.1	955
			21	21.3	136.9	950
		14	3	22.2	136.6	950
			9	22.7	136.5	950
			15	23.7	136.6	950
			21	24.4	136.6	950
		15	3	25.5	136.5	945
			9	26.5	136.3	945
			15	27.6	136.0	945
			21	29.0	135.6	945
		16	3	30.0	135.3	950
			9	31.0	134.7	955
			12	31.4	134.6	955
			15	32.0	134.6	960
			18	32.5	134.5	960
			21	33.0	134.3	960
			23	33.4	134.1	965
		17	0	33.6	134.0	970
			3	34.1	133.7	975
			6	34.5	133.6	985
			9	35.0	133.4	990
			12	35.3	133.4	992
			15	35.7	133.6	994
			21	36.8	134.3	998

表-A.2　速報値

日本時間				中心位置 [度]		中心気圧
年	月	日	時	北緯	東経	[hPa]
2015	7	4	3	9.4	170.5	1000
			6	10.4	170.4	1000
			9	10.3	170.3	998
			12	10.7	169.8	998
			15	10.7	168.9	998
			18	11.2	168.1	998
			21	11.2	167.1	996
		5	0	11.2	166.6	996
			3	11.6	165.7	992
			6	11.4	164.8	992
			9	11.4	164.7	992
			12	11.3	164.5	992
			15	11.1	163.9	992
			18	11.2	163.2	992
			21	10.8	162.6	985
		6	0	10.9	162.1	985
			3	11.2	161.7	980
			6	11.5	161.2	980
			9	11.7	159.9	980
			12	11.9	159.3	980
			15	11.7	158.6	975
			18	11.9	158.3	975
			21	12.2	157.8	965
		7	0	12.5	157.2	965
			3	12.6	156.8	955
			6	12.9	156.2	955
			9	13.1	155.6	945
			12	13.4	155.1	940
			15	13.6	154.6	935
			18	13.9	154.0	935
			21	14.3	153.5	925
		8	0	14.6	153.0	925
			3	15.0	152.2	925
			6	15.3	151.6	925
			9	15.4	150.7	930
			12	15.4	150.3	930
			15	15.4	149.9	935
			18	15.7	149.5	935
			21	16.0	149.1	935
		9	0	16.4	148.5	935
			3	16.6	147.8	935
			6	16.7	147.3	935
			9	17.0	146.9	935
			12	17.2	146.5	935
			15	17.6	145.9	935
			18	17.9	145.3	935
			21	18.0	144.6	925
		10	0	18.0	144.1	925
			3	18.2	143.6	925
			6	18.3	143.3	925
			9	18.2	142.7	925
			12	18.3	142.4	925
			15	18.4	142.0	925
			18	18.3	141.6	925
			21	18.2	141.3	925
		11	0	18.2	141.0	925
			3	18.3	140.7	935
			6	18.3	140.3	935
			9	18.3	140.0	945
			12	18.3	139.7	945
			15	18.3	139.5	950
			18	18.3	139.3	950
			21	18.4	139.0	950
		12	0	18.3	138.3	950
			3	18.3	138.1	950
			6	18.3	138.0	950
			9	18.4	137.7	950
			12	18.5	137.7	950
			15	18.6	137.6	950
			18	18.7	137.5	950
			21	18.7	137.5	950
		13	0	18.8	137.3	950
			3	19.0	137.2	950
			6	19.3	137.1	950
			9	19.6	137.2	950
			12	19.9	137.1	950
			15	20.5	137.1	950
			18	21.0	136.9	950
			21	21.3	136.9	950
		14	0	21.7	136.7	950
			3	22.2	136.6	950
			6	22.4	136.7	950
			9	22.7	136.5	950

			12	23.1	136.5	950
			15	23.7	136.5	950
			18	24.1	136.6	950
			21	24.3	136.6	950
		15	0	24.8	136.6	950
			3	25.5	136.5	945
			6	25.9	136.4	945
			9	26.5	136.3	945
			12	27.1	136.1	945
			15	27.5	136.0	945
			18	28.2	136.0	945
			21	29.0	135.6	945
		16	0	29.4	135.3	945
			3	29.9	135.2	955
			6	30.5	135.0	955
			9	31.0	134.8	960
			10	31.2	134.6	960
			11	31.3	134.6	960
			12	31.4	134.6	960
			13	31.5	134.6	960
			14	31.7	134.6	960
			15	32.0	134.6	960
			16	32.2	134.6	960
			17	32.3	134.5	960
			18	32.5	134.5	960
			19	32.6	134.5	960
			20	32.8	134.5	960
			21	33.0	134.3	960
			22	33.2	134.3	960
			23	33.4	134.2	960
		17	0	33.6	134.0	965
			1	33.7	133.8	970
			2	33.9	133.7	970
			3	34.1	133.7	975
			4	34.1	133.6	975
			5	34.4	133.7	980
			6	34.5	133.7	985
			7	34.7	133.6	985
			8	34.8	133.5	985
			9	35.0	133.4	990
			10	35.1	133.4	990
			11	35.2	133.4	990
			12	35.3	133.4	992
			13	35.5	133.4	994
			14	35.6	133.4	994
			15	35.7	133.5	994
			18	36.3	134.4	994
			21	36.6	134.6	996
		18	0	36.8	135.2	998
			3	37.0	136.0	1002

表-A.3　予報値（2015 年 7 月 16 日 16 時 時点）

日本時間				中心位置 [度]		中心気圧
年	月	日	時	北緯	東経	[hPa]
2015	7	4	3	9.4	170.5	1000
			6	10.4	170.4	1000
			9	10.3	170.3	998
			12	10.7	169.8	998
			15	10.7	168.9	998
			18	11.2	168.1	998
			21	11.2	167.1	996
		5	0	11.2	166.6	996
			3	11.6	165.7	992
			6	11.4	164.8	992
			9	11.4	164.7	992
			12	11.3	164.5	992
			15	11.1	163.9	992
			18	11.2	163.2	992
			21	10.8	162.6	985
		6	0	10.9	162.1	985
			3	11.2	161.7	980
			6	11.5	161.2	980
			9	11.7	159.9	980
			12	11.9	159.3	980
			15	11.7	158.6	975
			18	11.9	158.3	975
			21	12.2	157.8	965
		7	0	12.5	157.2	965
			3	12.6	156.8	955
			6	12.9	156.2	955
			9	13.1	155.6	945
			12	13.4	155.1	940
			15	13.6	154.6	935
			18	13.9	154.0	935
			21	14.3	153.5	925
		8	0	14.6	153.0	925
			3	15.0	152.2	925
			6	15.3	151.6	925
			9	15.4	150.7	930
			12	15.4	150.3	930
			15	15.4	149.9	935
			18	15.7	149.5	935
			21	16.0	149.1	935
		9	0	16.4	148.5	935
			3	16.6	147.8	935
			6	16.7	147.3	935
			9	17.0	146.9	935
			12	17.2	146.5	935
			15	17.6	145.9	935
			18	17.9	145.3	935
			21	18.0	144.6	925
		10	0	18.0	144.1	925
			3	18.2	143.6	925
			6	18.3	143.3	925
			9	18.2	142.7	925
			12	18.3	142.4	925
			15	18.4	142.0	925
			18	18.3	141.6	925
			21	18.2	141.3	925
		11	0	18.2	141.0	925
			3	18.3	140.7	935
			6	18.3	140.3	935
			9	18.3	140.0	945
			12	18.3	139.7	945
			15	18.3	139.5	950
			18	18.3	139.3	950
			21	18.4	139.0	950
		12	0	18.3	138.3	950
			3	18.3	138.1	950
			6	18.3	138.0	950
			9	18.4	137.7	950
			12	18.5	137.7	950
			15	18.6	137.6	950
			18	18.7	137.5	950
			21	18.7	137.5	950
		13	0	18.8	137.3	950
			3	19.0	137.2	950
			6	19.3	137.1	950
			9	19.6	137.2	950
			12	19.9	137.1	950
			15	20.5	137.1	950
			18	21.0	136.9	950
			21	21.3	136.9	950
		14	0	21.7	136.7	950
			3	22.2	136.6	950
			6	22.4	136.7	950
			9	22.7	136.5	950

			12	23.1	136.5	950
			15	23.7	136.5	950
			18	24.1	136.6	950
			21	24.3	136.6	950
		15	0	24.8	136.6	950
			3	25.5	136.5	945
			6	25.9	136.4	945
			9	26.5	136.3	945
			12	27.1	136.1	945
			15	27.5	136.0	945
			18	28.2	136.0	945
			21	29.0	135.6	945
		16	0	29.4	135.3	945
			3	29.9	135.2	955
			6	30.5	135.0	955
			9	31.0	134.8	960
			10	31.2	134.6	960
			11	31.3	134.6	960
			12	31.4	134.6	960
			13	31.5	134.6	960
			14	31.7	134.6	960
			15	32.0	134.6	960
			18	32.5	134.4	960
			21	33.1	134.2	965
		17	0	33.7	134.0	970
			3	34.3	133.7	975
			6	34.7	133.5	980
			9	35.1	133.3	980
			12	35.5	133.3	985
			15	35.9	133.3	985
		18	15	39.1	135.4	1002

付録B　施設被害資料

表-B.1　港湾施設の被害状況

（出典：国土交通省 台風第 11 号による大雨等に係る被害状況等について（第 8 報））

都道府県名	管理者名	港格	港湾名	地区名	被害状況
香川県	坂出市	重要	坂出港	中央ふ頭地区	浮き桟橋の渡橋落下.
香川県	香川県	重要	高松港	玉藻地区	植栽升の外壁が損傷. 護岸防波の張石が飛散. 岸壁-10m,-7.5m,-6m のエプロン舗装（ブロック）が飛散.
香川県	香川県	重要	高松港	弦打地区	臨港道路弦打２号線の路肩舗装が損壊.（片側通行による措置済み）
香川県	香川県	地方	牟礼港		防波堤の被覆・根固石が損壊.
香川県	香川県	地方	三本松港		防波堤の上部工が損壊.
香川県	三豊市	地方	志々島港		宮浦沖防波堤，防砂堤の損傷.
愛媛県	愛媛県	重要	東予港	西条地区	防波堤のケーソン 200m（25 函）が傾倒し，ケーソン本体の一部が損壊.
愛媛県	愛媛県	重要	東予港	東港地区	東港防波堤の上部工（パラペット部）30m が損壊.
愛媛県	愛媛県	重要	新居浜港	本港地区	東防波堤の基礎捨石 100m が損壊. 西防波堤の基礎捨石 100m が損壊. 灯台の電線が流出.（仮電源により灯台機能の応急復旧済み） 内防波堤の基礎捨石 50m が損壊. 廃棄物護岸の水路・水叩（14 箇所）が損壊.
愛媛県	愛媛県	重要	新居浜港	東港地区	多喜浜防砂堤の基礎捨石，上部工 100m（３箇所）が損壊.
徳島県	徳島県	重要	徳島小松島港	金磯地区	金磯南物揚場(-4m)の防舷材，車止が一部損壊 金磯護岸防波の被覆石，舗装が一部損壊
高知県	高知県	地方	奈半利港	田野地区	航路が埋塞（10,000m3）.
高知県	高知県	地方	下田港	港口地区	ケーソンが移動．消波ブロックが沈下.
岡山県	岡山県	重要	宇野港	宇野地区	浮き桟橋の屋根が飛ばされ，隣接する臨港道路宇野線に落下.（当該落下物を撤去し 7 月 17 日 13 時 50 分に通行止め措置を解除）
岡山県	岡山県	重要	岡山港	西大寺地区	戎町１号防波堤の胸壁コンクリートが沈下・ひび割れ.
岡山県	岡山県	重要	牛窓港	前島地区	前島東２号防波堤の上部工が破損し，中詰材が流失.

三重県	三重県四日市港管理組合	国際拠点港港	四日市港	四日市地区	末広 2 号地物揚場の石積護岸が損壊．（立ち入り禁止対策を実施済み）
和歌山県	和歌山県	国際拠点港港	和歌山下津港	本港地区	工事中の防波堤に使用する上部工用のブロック 11 個が移動，3 個が海中転落．
和歌山県	和歌山県	地方	湯浅広港	湯浅地区	航路（-2.0m）が土砂による埋没．
和歌山県	和歌山県	地方	湯浅広港	広地区	航路（-1.5m）が土砂による埋没．
和歌山県	和歌山県	地方	日置港	本港地区	護岸 20m が損壊．
東京都	国	特定離島	沖ノ鳥島	沖ノ鳥島	北側桟橋鉄管杭のステンレスライニングがよじれ等．

表-B.2　港湾局所管の海岸保全施設の被害状況

（出典：国土交通省 台風第 11 号による大雨等に係る被害状況等について（第 8 報））

都道府県名	管理者名	港格	港湾名	地区名	被害状況
香川県	香川県	重要	高松港海岸	香西地区	護岸の張石が飛散．
香川県	三豊市	地方	志々島港海岸		護岸の上部工，斜路が損壊．

付録C　調査対象港湾の港湾計画図

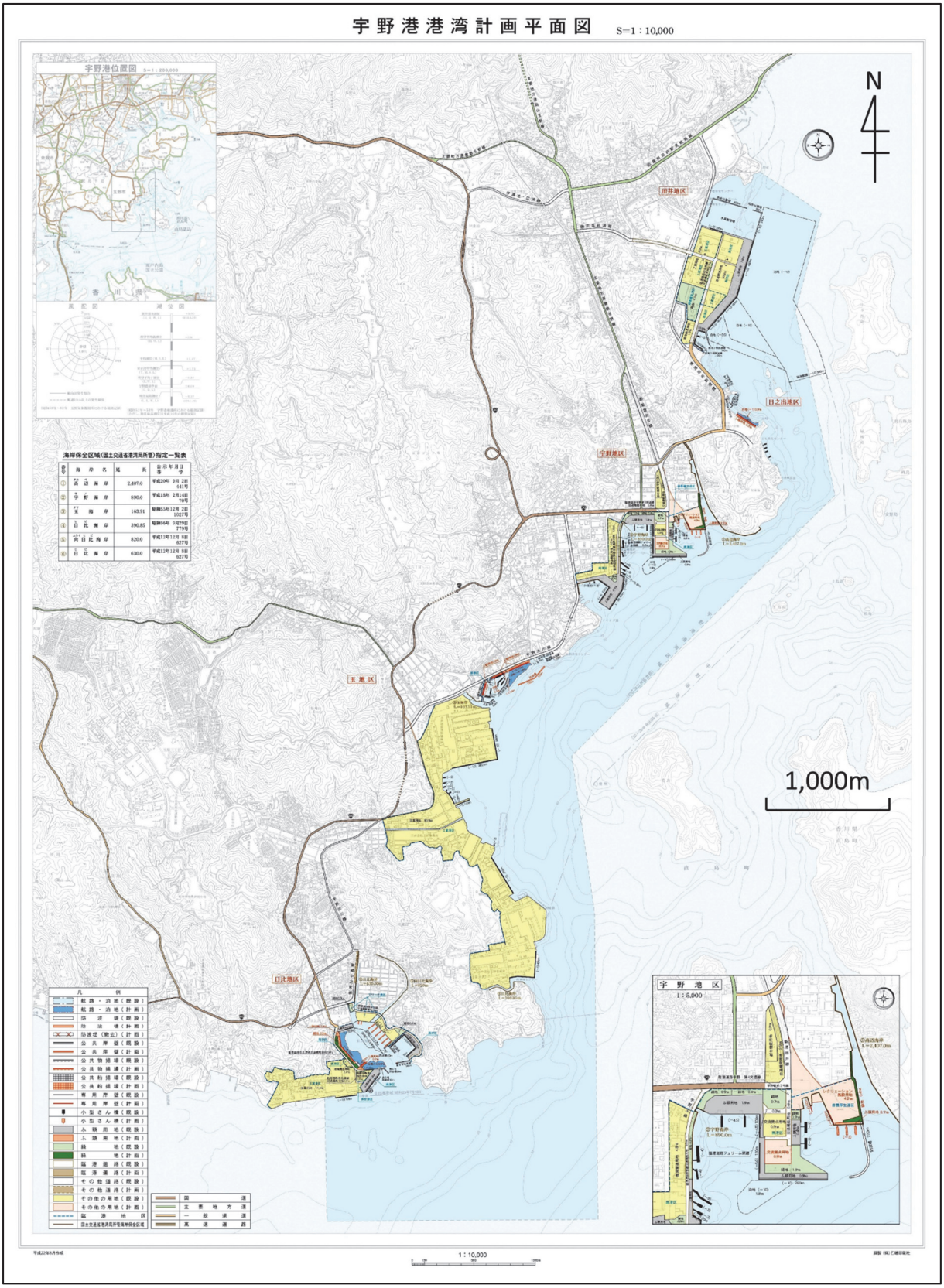


図-C.1　港湾計画図（宇野港）



図-C.2　港湾区域（宇野港）

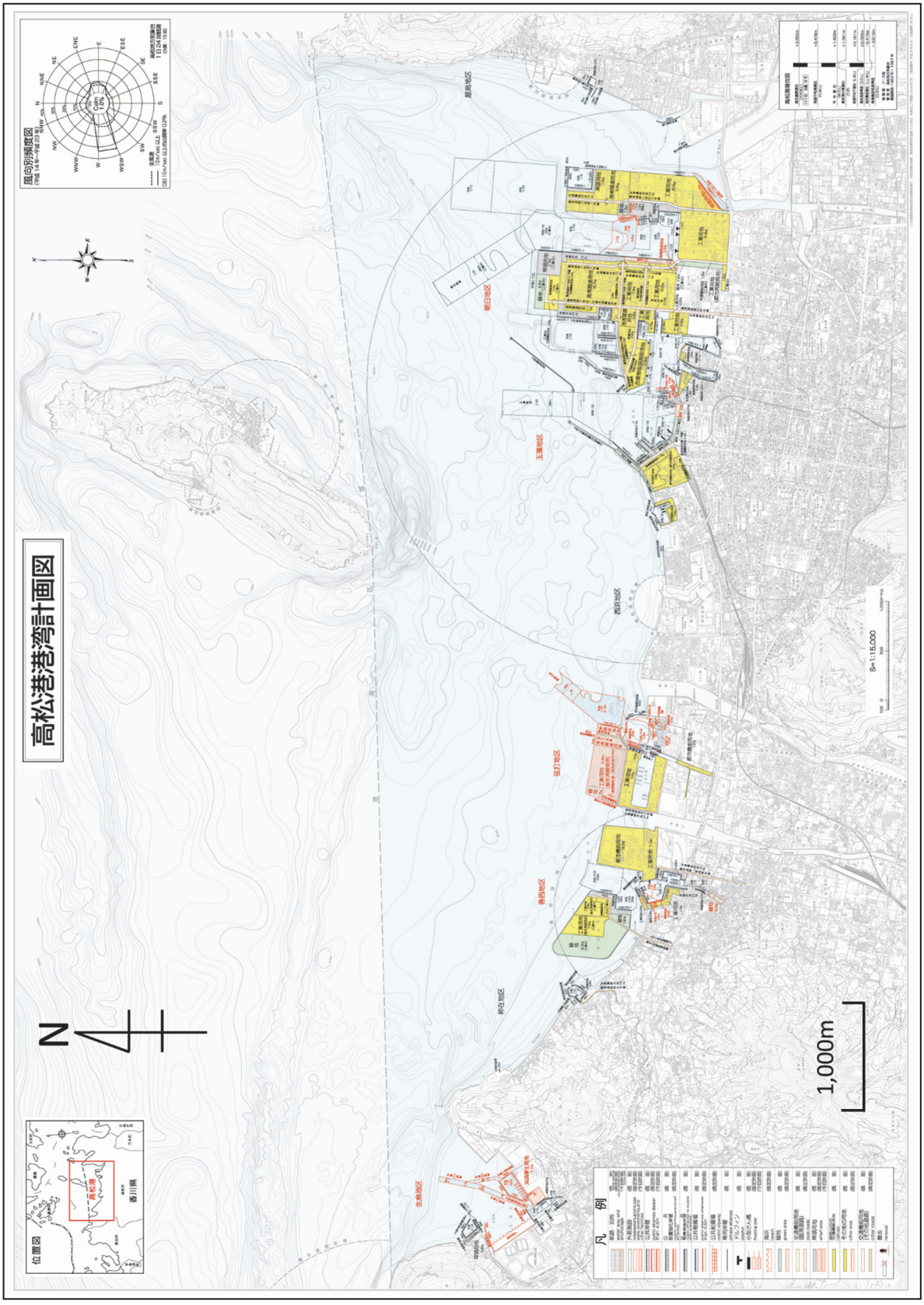


図-C.3　港湾計画図（高松港）

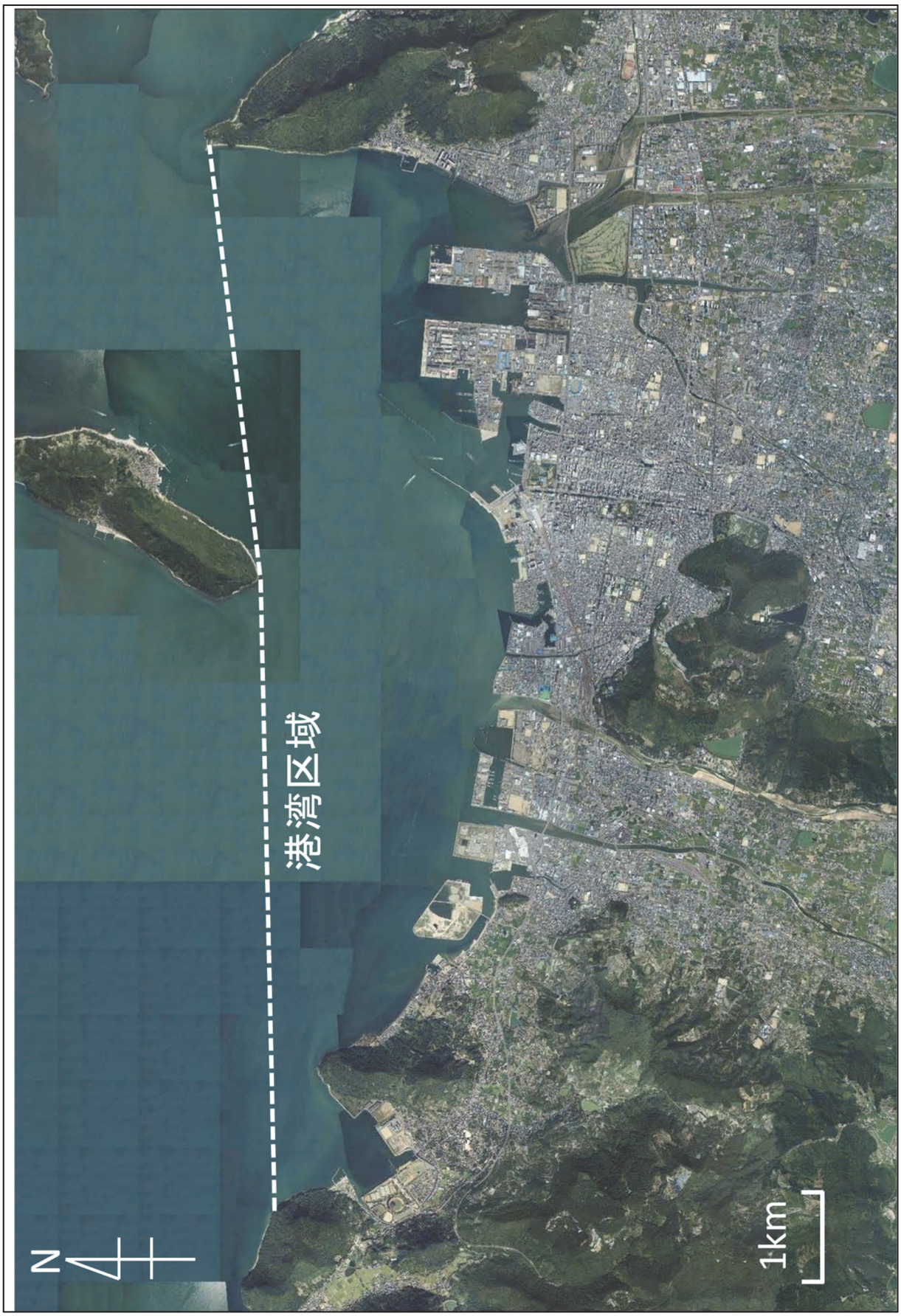


図-C.4　港湾区域（高松港）

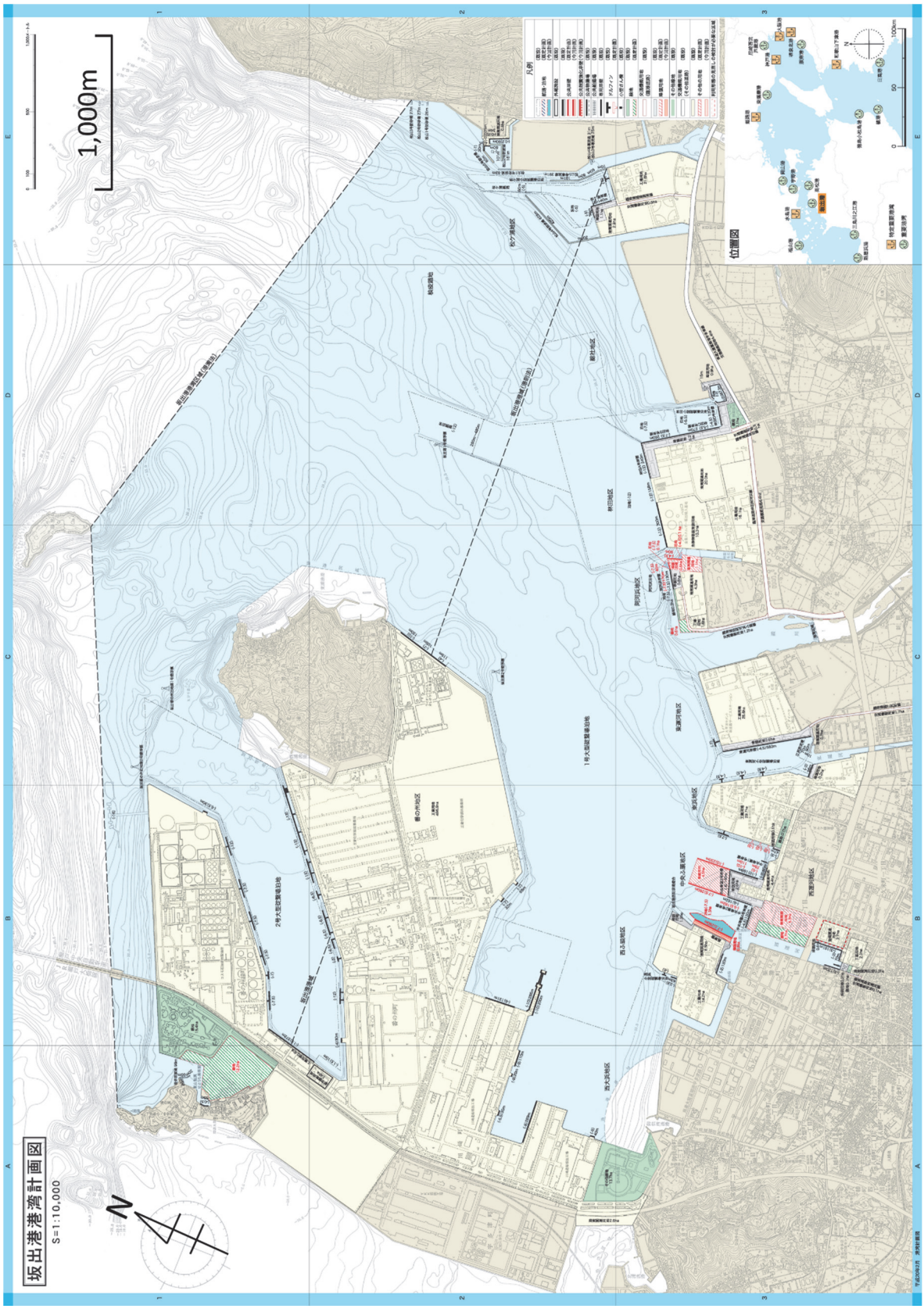


図-C.5　港湾計画図（坂出港）

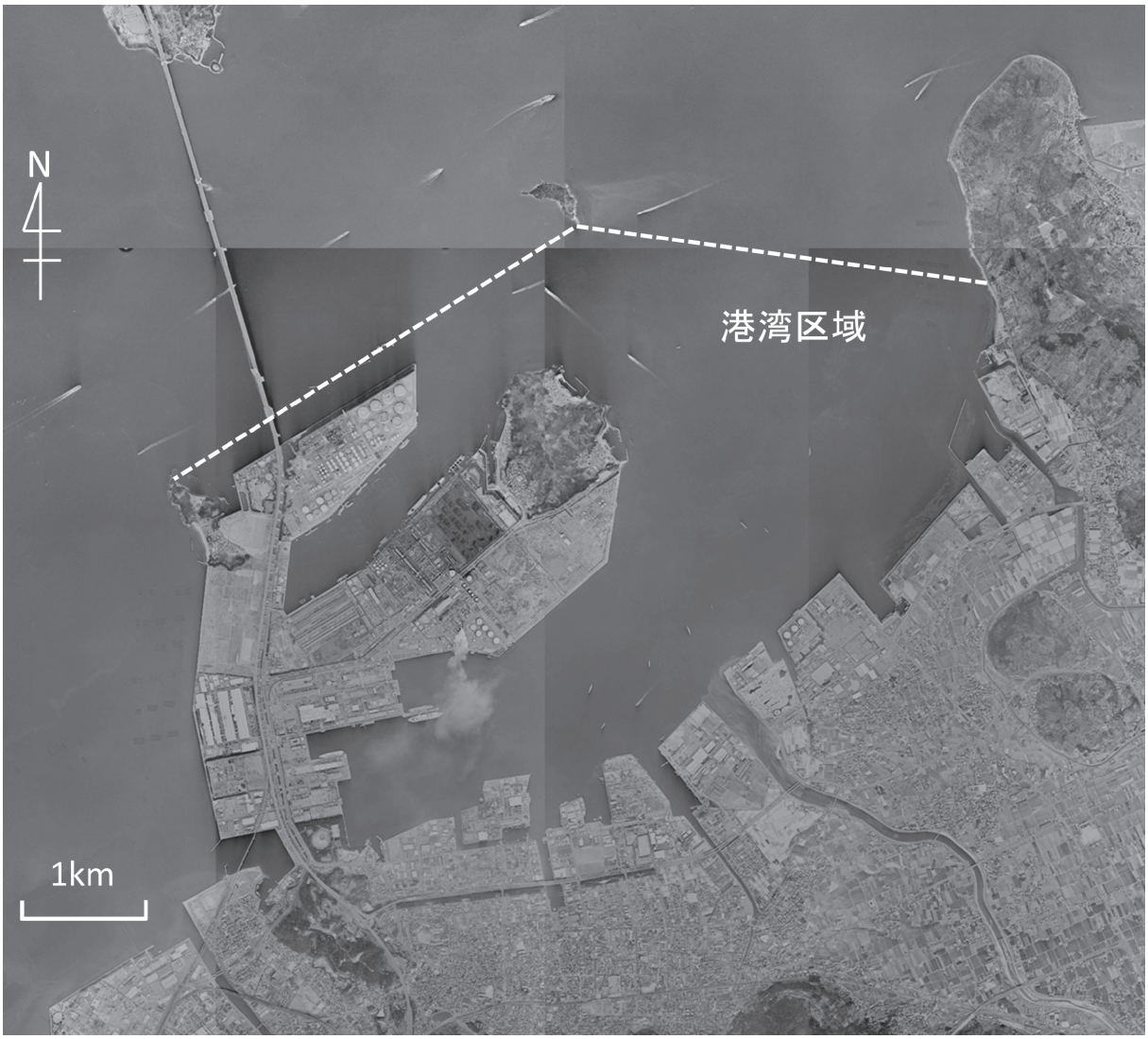


図-C.6　港湾区域（坂出港）

付録D　台風の最大風速半径による解析結果の影響

河合ら（2005b）や加藤（2005）は，台風の最大風速半径を中心気圧から算出する評価式を提案している．これらの評価式は，過去の台風について，気象官署の観測結果から得られる最大風速半径と中心気圧との関係を算出し，それらの近似曲線として導出したものである．しかし，これらの関係には台風毎でのばらつきが大きいため，注意が必要である．

これら2つの評価式による算出結果を**図-D.1**に示す．中心気圧970hPaに対する最大風速半径は，河合ら（2005b）によると約100km，加藤（2005）によると約110kmであり，両者の差は約10kmとなる．

台風1511号を対象とした高潮偏差の解析値について，両者の最大風速半径を用いたケースを比較したものを，図-D.2および図-D.3に示す．宇野港および高松港ともに，台風の最接近時は台風中心から20km～30km程度であり，そのときの最大風速半径（約100km）の位置から離れているため，両者に大きな差異は認められない．

しかし，最大風速半径の位置が近くを通過する港湾等を対象とする際には，注意が必要である．

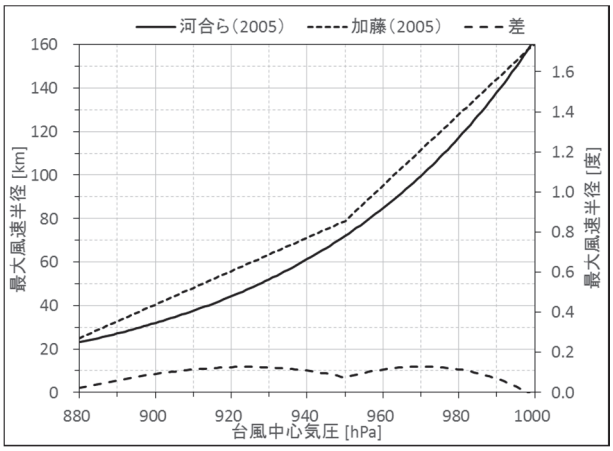
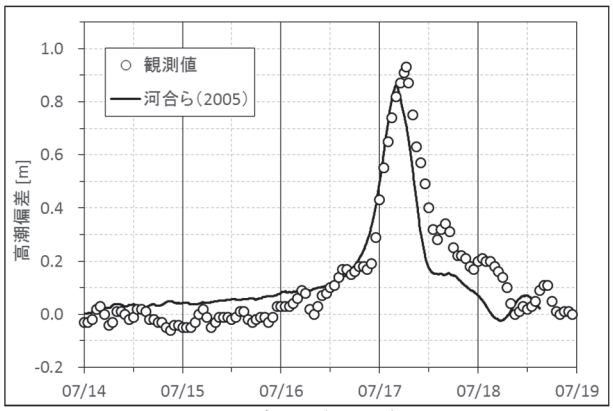
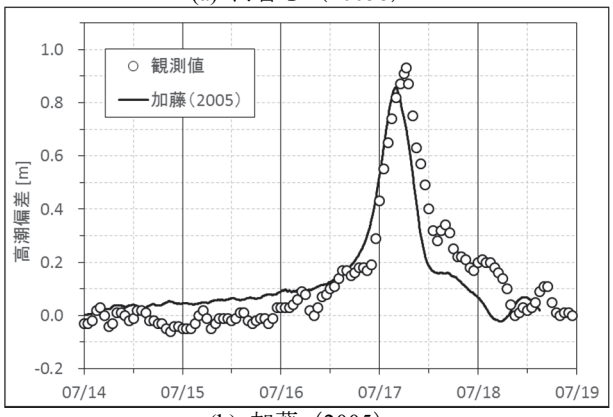


図-D.1　台風の中心気圧と最大風速半径

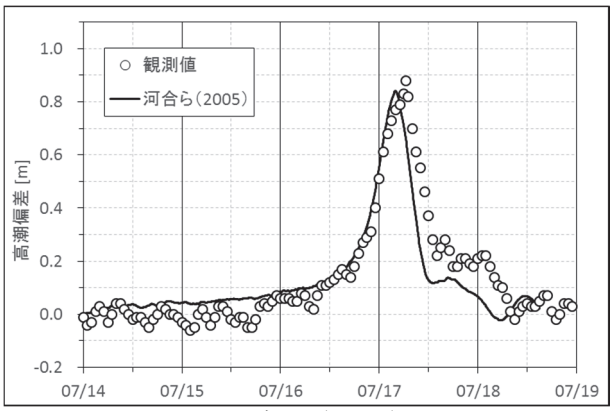


(a) 河合ら（2005b）

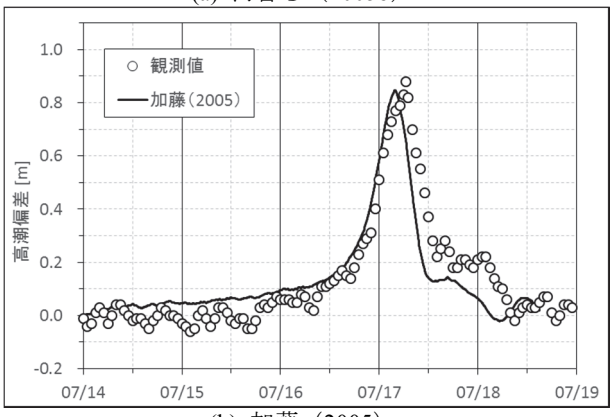


(b) 加藤（2005）

図-D.2　宇野港における高潮偏差の観測値および解析結果



(a) 河合ら（2005b）



(b) 加藤（2005）

図-D.3　高松港における高潮偏差の観測値および解析結果

付録E　台風の中心位置による解析結果の影響

気象庁による台風の予報値および速報値は，実際の解析による中心位置の座標は0.1度単位であるのに対し，発表値は慣例から5分単位としている．

これによって生じる誤差を**表-E. 1**に示し，その誤差の頻度分布を**図-E. 1**に示す．なお，この頻度分布は，緯度方向および傾度方向の誤差の合成ベクトル（**図-E. 2**）の大きさで整理したものである．これによると，中心位置の誤差が4km～5kmとなる確率が30%を超えていることが分かる．

図-E. 3および**図-E. 4**に，台風1511号による高潮偏差について，正しい中心位置とした場合，および，誤った中心位置とした場合の解析結果を示す．

宇野港および高松港は，台風の中心が非常に近くを通過したため，この中心位置の誤差の影響が確認できる．

このことから，予報値および速報値の中心位置の単位には注意が必要である．

表-E. 1　台風中心位置の誤差（対象：北緯 31.5 度）

南北方向（緯度方向）			東西方向（経度方向）		
度単位 [deg.]	分単位 [min.]	誤差 [km]	度単位 [deg.]	分単位 [min.]	誤差 [km]
0.0	0	0.000	0.0	0	0.000
0.1	5	-1.852	0.1	5	-1.579
0.2	10	-3.704	0.2	10	-3.159
0.3	20	3.704	0.3	20	3.159
0.4	25	1.852	0.4	25	1.579
0.5	30	0.000	0.5	30	0.000
0.6	35	-1.852	0.6	35	-1.579
0.7	40	-3.704	0.7	40	-3.159
0.8	50	3.704	0.8	50	3.159
0.9	55	1.852	0.9	55	1.579

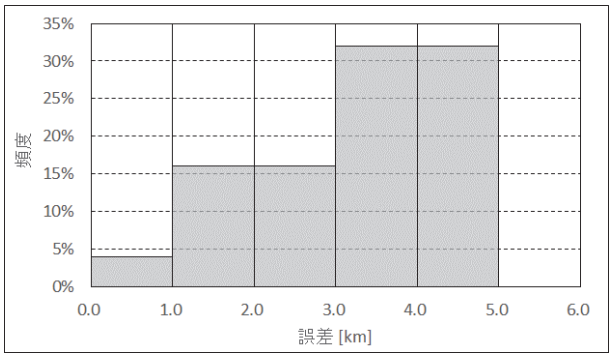


図-E. 1　台風中心位置の誤差の頻度分布
（対象：北緯 31.5 度）

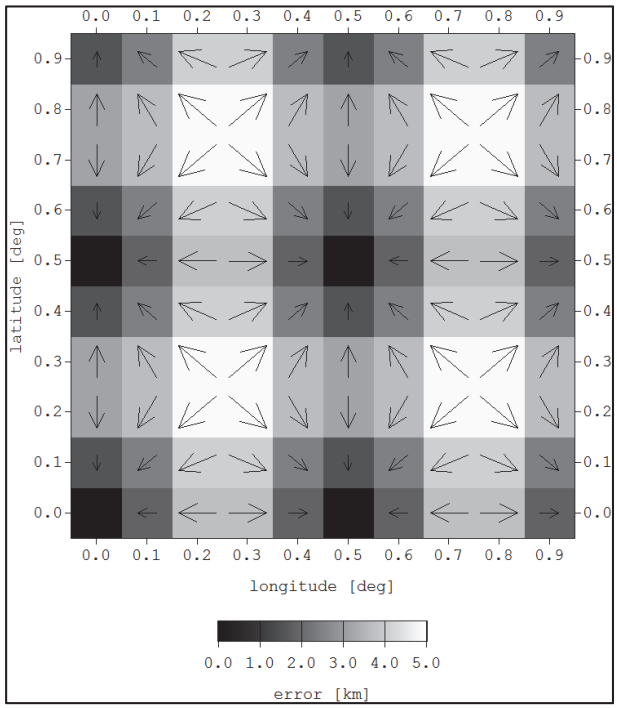
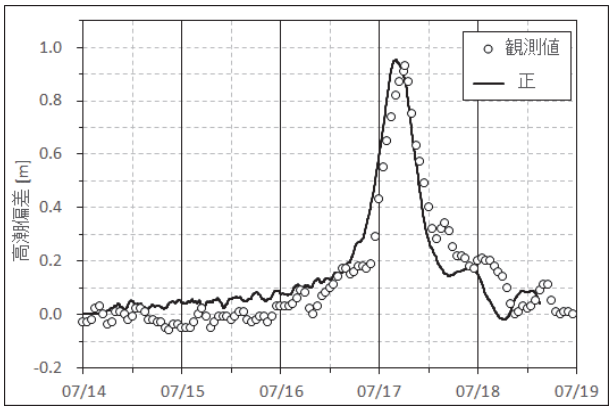
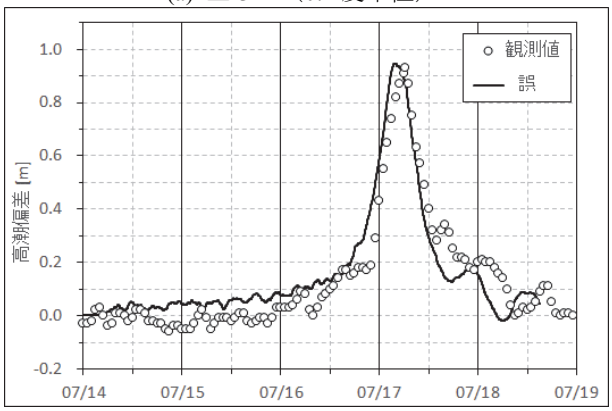


図-E. 2　台風中心位置の誤差ベクトル
（対象：北緯 31.5 度）

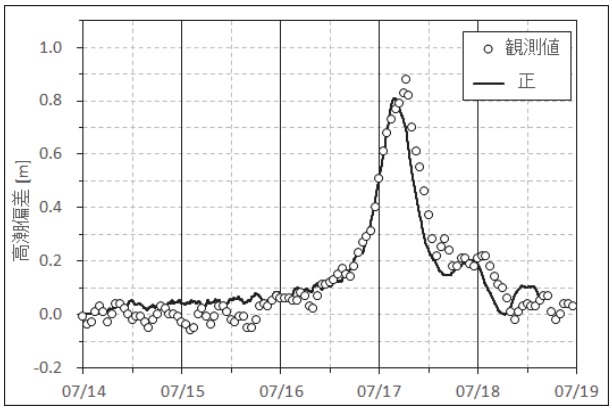


(a) 正しい（0.1 度単位）

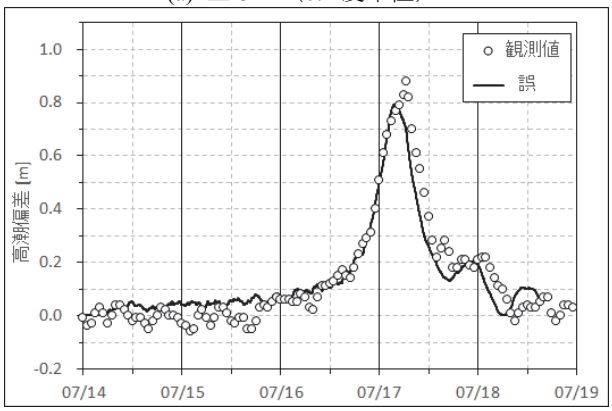


(b) 誤り（5 分単位）

図-E. 3　宇野港における高潮偏差の観測値および解析結果



(a) 正しい（0.1 度単位）



(b) 誤り（5 分単位）

図-E. 4　高松港における高潮偏差の観測値および解析結果

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ

No. 893　　March 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課　電話:046-844-5019