

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 971 Dec. 2000

台風9918号による高潮の現地調査と追算

| | | | |
|---|---|---|---|
| 河 | 合 | 弘 | 泰 |
| 平 | 石 | 哲 | 也 |
| 丸 | 山 | 晴 | 広 |
| 田 | 中 | 良 | 男 |

運輸省港湾技術研究所

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

台風9918号高潮災害関連

Dec. 2000

- No. 969 台風9918号による西日本沿岸の波浪と潮位の出現特性
- No. 970 波浪推算法による台風9918号の異常波浪の再現計算
- No. 971 台風9918号による高潮の現地調査と追算
- No. 972 台風9918号による越波災害に関する一考察
- No. 973 台風9918号による護岸の被災とその対策に関する水理模型実験
- No. 974 台風9918号による虹ヶ浜海岸の高潮災害

運輸省港湾技術研究所



目 次

| | |
|-----------------------|----|
| 要旨 | 3 |
| 1. はじめに | 4 |
| 2. 台風9918号と九州周辺の地形の特徴 | 4 |
| 2.1 台風9918号の特徴 | 4 |
| 2.2 九州周辺にある湾の海底地形 | 5 |
| 2.3 九州周辺における既往の高潮 | 5 |
| 3. 現地調査の方法 | 5 |
| 3.1 現地調査の日程と対象地点 | 5 |
| 3.2 現地調査で得られたデータの整理方法 | 6 |
| 4. 数値計算の方法 | 7 |
| 4.1 台風の気圧分布と風 | 7 |
| 4.2 海水の運動 | 8 |
| 4.3 計算格子および高潮の再現時間 | 8 |
| 5. 八代海周辺の高潮とその被害 | 11 |
| 5.1 八代海周辺の高潮 | 11 |
| 5.2 八代海沿岸での被害 | 19 |
| 6. 周防灘周辺の高潮とその被害 | 25 |
| 6.1 周防灘周辺の高潮 | 25 |
| 6.2 周防灘沿岸での被害 | 32 |
| 7. 鹿児島湾周辺の高潮 | 36 |
| 8. 大きな災害となった原因 | 39 |
| 9. おわりに | 41 |
| 謝辞 | 41 |
| 参考文献 | 42 |
| 記号表 | 42 |
| 付録 | 42 |

Field Investigation and Numerical Simulation of Storm Surge by Typhoon No.9918

Hiroyasu KAWAI*
Tetsuya HIRAISHI**
Haruhiro MARUYAMA***
Yoshio TANAKA****

Synopsis

On September 24, 1999, the typhoon No.9918 induced the storm surge disaster in the west of Japan, which is the most enormous one in Japan since the typhoon No.5915 in 1959. The levels of the inundation traces were surveyed along the coast of Yatsushiro-kai Sea and Suo-nada Sea. The storm surge in Yatsushiro-kai Sea, Suo-nada Sea, and Kagoshima Bay were simulated by a numerical model. The main conclusions are as follows:

- (1) In Yatsushiro-kai Sea, the meteorological tide anomaly became nearly 1 meter in the southern region around Minamata, about 2 meters in the northern region around Yatsushiro, and more than 3 meters in the innermost region around Shiranui mainly due to wind drift effect. The meteorological tide anomaly became the maximum near the astronomical high tide, therefore the total tidal level became very high. Consequently the water level went up to the roofs of the first stories of the houses at the Matsuai Section of Shiranui.
- (2) In Suo-nada Sea, the meteorological tide anomaly became about 2 meters in the northern coast between Kanda and Tokuyama. The meteorological tide anomaly became the maximum at the astronomical high tide. Consequently many seawalls were damaged, and the residential areas at the backward were flooded.
- (3) In Kagoshima Bay, the meteorological tide anomaly became about 0.5 meter in the entrance region and about 1 meter in the innermost region around Kagoshima.
- (4) In the present numerical model, marine wind is estimated by a general assumption of wind velocity and direction. However, in the western region of Suo-nada Sea, the meteorological tide anomaly is underestimated by the model. It is necessary to consider the effect of the land topography on the marine wind.
- (5) The maximum meteorological tide anomaly by the typhoon No.9918 is almost same as that by the typhoon No.9119 in 1991, however the damage was more enormous because the astronomical tidal level was higher. The occurrence time of the inundation, evacuation advice, inundation elevation seem to be principal factors to vary the human damage.

Key Words: typhoon No.9918, storm surge, astronomical tidal level, inundation

* Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

** Chief of Wave Laboratory, Hydraulic Engineering Division

*** Member of Wave Laboratory, Hydraulic Engineering Division

**** Trainee of Wave Laboratory, Hydraulic Engineering Division

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Tel: +81-468-44-5063 Fax: +81-468-41-3888 e-mail: kawai@cc.phri.go.jp

台風 9918 号による高潮の現地調査と追算

河 合 弘 泰*
平 石 哲 也**
丸 山 晴 広***
田 中 良 男****

要 旨

1999 年 9 月 24 日、台風 9918 号は八代海や周防灘など西日本の沿岸に、日本では台風 5915 号(伊勢湾台風)以来とも言われる規模の高潮災害をもたらした。この高潮の特性を明らかにするために、八代海と周防灘の沿岸で、浸水の痕跡高を測量した。また、八代海、周防灘、鹿児島湾について、高潮の再現計算を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 八代海では、現地調査や数値計算の結果によると、南部の水俣周辺で 1m 弱、北部の八代周辺では 2m 程度の潮位偏差が生じた。八代より湾奥では水深が非常に浅いため、主として吹き寄せ効果によって、不知火周辺では 3m を上回る潮位偏差が生じた。満潮に近い時間帯に高潮が発生したために潮位は非常に高くなり、不知火町松合地区では船だまりから溢れた海水によって住宅の一階の屋根まで浸水した。
- 2) 周防灘では、現地調査や数値計算の結果によると、荻田から徳山に至る広い範囲で 2m 程度の潮位偏差が生じた。満潮とほぼ重なって高潮が発生したため、非常に多くの護岸が被災し、住宅地も広い範囲で浸水した。
- 3) 鹿児島湾では、数値計算の結果によると、湾口部で 0.5m 程度、湾奥部の鹿児島周辺で 1m 程度の潮位偏差が生じた。
- 4) これまで高潮の計算に用いる海上風の推算では、風速の低減係数と風向の偏向角に一定値が与えられてきた。しかし、周防灘の西部では、この方法によって推算された潮位偏差が現地調査や検潮記録による値より小さく、陸上地形を考慮して海上風を推算する必要がある。
- 5) 台風 9918 号が八代海や周防灘に発生させた潮位偏差は台風 9119 号の時と同程度であったが、満潮と重なったために災害の規模では台風 9119 号を上回った。浸水の人的被害には、浸水の発生時刻、避難勧告の有無、浸水高なども密接に関わっている。

キーワード：台風 9918 号、高潮、天文潮位、浸水

* 水工部主任研究官
** 水工部波浪研究室長
*** 水工部波浪研究室
**** 水工部波浪研究室研修生
〒 239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 運輸省港湾技術研究所
Tel: 0468-44-5063 Fax: 0468-41-3888 E-mail: kawai@cc.phri.go.jp

1. はじめに

今から半世紀近く前の1953年9月25日、台風5313号(通称:13号台風)は三河湾や伊勢湾などの海域に大きな高潮災害をもたらした。この災害は、1955年に土木学会に海岸工学委員会が設立され、1956年に海岸法が制定される大きなきっかけになった。ところが不運なことにも、1959年9月26日には台風5915号(伊勢湾台風)が、再び伊勢湾をはじめとする海域に顕著な高潮を発生させ、5,000余名もの尊い命を奪ったのである。

これら二つの高潮災害を踏まえ、日本の多くの内湾では、高潮の危険性が検討され、防波堤、堤防、胸壁、防潮水門などの防御施設が整備されきた。その効果もあつてか、再び大きな高潮災害には見舞われていなかった。また、特に三大湾と称される東京湾、伊勢湾、大阪湾の高潮については、多くの研究や調査が行われてきた(伊勢湾に関する最近のものでは、柴木ら、1998; Kawai, 1999; 加藤, 1999など)。

ところが、伊勢湾台風から40年を経た1999年9月24日、台風9918号は、八代海(不知火海)や周防灘などの沿岸に、これらの地方では台風4216号(周防灘台風)以来、全国的には台風5915号(伊勢湾台風)以来とも言われる規模の高潮災害を引き起こした。特に、八代海の奥部に位置する不知火町では、突然襲った高潮によって松合地区の住宅が一階の屋根まで浸水するなど、12名が亡くなった。また、周防灘の沿岸でも、高潮と高波によって多くの護岸が破壊され、その背後地も浸水した。

そこで、現地調査や数値計算によって、この高潮の状況を明らかにするとともに、大きな災害に至った原因について考察した。なお、現地の被災状況については既にいくつかの報告がなされており(滝川, 2000; 山本ら, 2000; 奥園ら, 2000など)、当所においても様々な角度からこの災害に関する検討が行われてきた(高橋ら, 2000; 永井ら, 2000; 橋本ら, 2000; 平石ら, 2000; 柳嶋ら, 2000)。

2. 台風9918号と九州周辺の地形の特徴

2.1 台風9918号の特徴

過去およそ60年間に九州周辺を通過した主要な台風のコースを図-2.1に示す。これらの台風は、台風9918号や台風9119号(りんご台風)などの北北東進タイプと、台風4216号(周防灘台風)などの北進タイプに大別できそうである。北北東進タイプの台風では八代海の軸とほぼ平行のコースになる。また、周防灘を横切る台風は珍

しくない。

さて、台風9918号は、1999年9月19日に台湾の東方で発生し、20日から21日にかけて宮古島周辺でしばらく停滞しているうちに勢力を増した。その後は非常にゆっくりと北上し、24日4時頃になって熊本県牛深市付近を通過した。さらに北北東、すなわち八代海の軸と概ね平行な方向に進路をとり、有明海の南部を横切った。この頃の台風の中心気圧は約945hPa、進行速度は約40km/hであった。牛深では瞬間最大風速66.2m/sを記録した。6時頃になると福岡県大牟田市付近に上陸し、同県内を北東へ進んだ。そして、8時前には周防灘の西部に抜け、8時過ぎには山口県宇部市周辺に再上陸した。この頃の中心気圧は約950hPa、進行速度は約50km/hであった。

台風9918号に似たコースをとった台風として、台風9119号をあげることができる。この台風は、台風9918号とほぼ平行に北側を通過した。このときにも八代海や周防灘の沿岸に被害は生じたが、高潮や高波による被害については、台風9918号ほどの規模ではなかった。

図-2.1に示した台風の諸元を八代海に再接近した頃の値で比較すると、表-2.1のようになる。台風9918号の中心気圧は、台風4516号や台風9119号に次ぐものであった。また、台風9918号の進行速度は、これらの台風

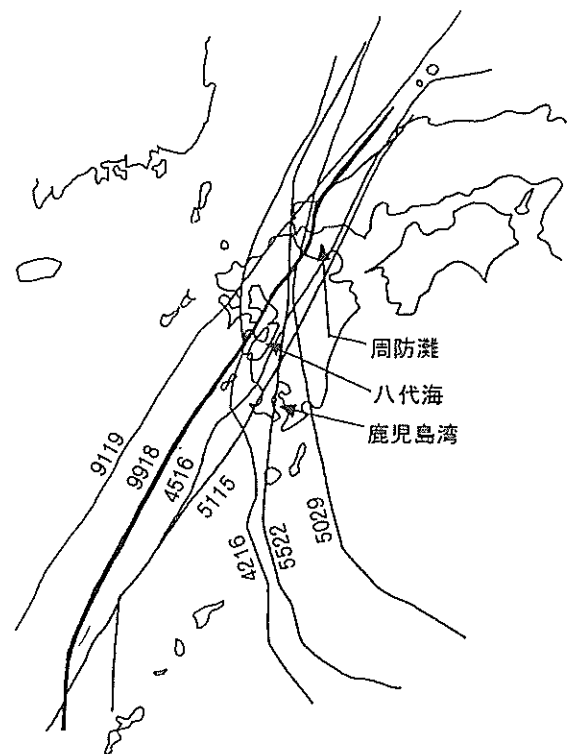


図-2.1 九州周辺を通過した主要な台風のコース

表-2.1 台風が八代海に再接近した頃の諸元

| 台風 No. (通称名) | 中心気圧 (hPa) | 進行速度 (km/h) |
|--------------|---------------|----------------|
| 4216 (周防灘) | 950 | 45 |
| 4516 (枕崎) | 930 | 50 |
| 5029 (キジア) | 965 | 25 |
| 5115 (ルース) | 945 | 75 |
| 5522 (ルイズ) | 950 | 40 |
| 9119 (りんご) | 935 | 50 |
| 9918 | 945 | 40 |

の中では平均的なものであった。

2.2 九州周辺にある湾の海底地形

高潮は気圧低下による海面の吸い上げと強風による吹き寄せとによって起きる現象であり、後者の吹き寄せの効果は湾長が長く水深が浅いほど顕著となる。

そこで、日本の主要な湾の縦断面について比較すると、図-2.2のようになる(以下では「湾」、「灘」、「海」の総称としても「湾」を用い、「灘」や「海」の奥も「湾奥」と記す)。なお、この図の水深は、航路など局所的に掘削された場所を避けつつ、湾奥から湾口に至る湾軸上のなるべく代表的な水深を拾ったものである。まず、三大湾について見ると、東京湾や大阪湾では湾奥から湾口に向かってほぼ一様勾配で水深が深くなっており、伊勢湾でも単調に水深が深くなっている。これらの湾の湾奥には顕著な浅瀬はなく、水深も同じくらいである。そして、本論文で高潮の検討を行う八代海、周防灘、鹿児島湾については、以下の特徴がある。

- ①八代海：湾奥部には、海図基準面 C.D.L.(朔望平均干潮位 L.W.L.に近い)下 5m 未満の浅瀬が、長さ 20km 近くに渡って続いている。なお、有明海の湾奥にも同様な浅瀬がある。
- ②周防灘：湾奥からほぼ一様勾配で水深が深くなっている。但し、その水深は三大湾よりも浅い。
- ③鹿児島湾：カルデラの名残りであり、水深は非常に深い。但し、湾奥から約 20km のあたり(鹿児島市街と桜島に挟まれたところ)に限っては、水深は 30m 程度であり、周りに比べて浅い。

海岸線の平面的な形状では、周防灘を除くと、何れも南北に長い湾である。台風がこれらの湾の西側を通過すると、強い南風によって海水が湾奥に吹き寄せられ、顕著な高潮が発生する。一方、周防灘では、台風が接近しつつあるときに、湾口から湾奥に向かう東風によって海

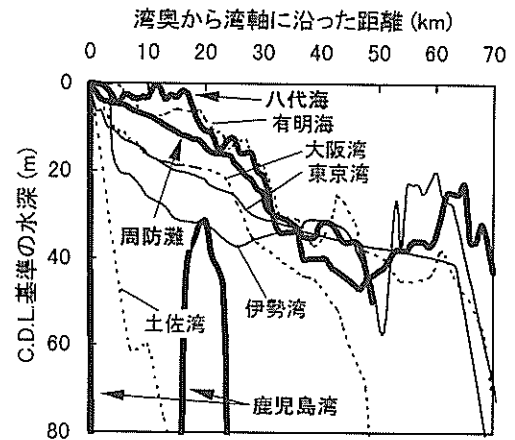


図-2.2 主要な湾の縦断面

水が吹き寄せられ、湾奥では顕著な高潮が発生する。

2.3 九州周辺における既往の高潮

表-2.2は日本の主要な湾における 1945 年から 1997 年までの毎時最大潮位偏差を示す。検潮記録で捉えられた公式の記録としては、台風 5915 号による名古屋の 3.45m が最高であり、未だそれを上回る潮位偏差は記録されていない。八代海では既に台風 9119 号によって 2m 程度の、周防灘でも同じく台風 9119 号によって 3m 近い潮位偏差が記録されていた。但し、八代海では八代より奥に検潮所がないため(過去に潮位観測が行われていたが、現在は行われていない)、不知火町など湾奥部で生じた潮位偏差については不明な点が多い。

表-2.3は、台風 9918 号による潮位偏差(速報値)を台風 9119 号による潮位偏差と比較したものである。台風 9918 号による潮位偏差の方が大きかった場所と逆に小さかった場所とがあるが、全体的にみると同程度であったと考えられる。それに関わらず、台風 9918 号は八代海や周防灘などの沿岸に台風 9119 号のときとは比べものにならない規模の高潮災害をもたらしたのである。

3. 現地調査の方法

3.1 現地調査の日程と対象地点

港湾技術研究所は、八代海、周防灘、鹿児島湾などの沿岸において、港湾・海岸・空港施設やその背後地の被災状況を数度にわたり現地調査を行った。これらの調査のうち、高潮に主眼を置いたものは、以下のに記す 3 回である。

①第 1 回調査

1999 年 9 月 28 日～ 29 日

表-2.2 主要な湾における毎時最大潮位偏差(運輸省, 1992; 気象庁, 1999 による)

| 海 域 | 場 所 | 台風 No.(通称名) | 毎時最大 潮位偏差 (m) | 朔望時の天 文潮差(m) |
|------|--------|-------------|------------------|-----------------|
| 東京湾 | 千 葉 | 8506 | 1.63 | 2.0 |
| 伊勢湾 | 名 古 屋 | 5915 (伊勢湾) | 3.45 | 2.4 |
| 大阪湾 | 大 阪 | 6118 (第二室戸) | 2.45 | 1.6 |
| 土佐湾 | 高 知 | 7010 | 2.35 (推定値) | 1.9 |
| 周防灘 | 長府(下関) | 9119 (りんご) | 2.81 | 3.8 |
| 有明海 | 大 浦 | 9119 (りんご) | 2.12 | 4.9 |
| 八代海 | 八 代 | 9119 (りんご) | 1.84 | 3.8 |
| 鹿児島湾 | 鹿 児 島 | 9313 | 1.15 | 2.8 |

表-2.3 台風 9119 号と台風 9918 号による潮位偏差の比較(運輸省, 1992 他による)

| 海 域 | 地 点 | 毎時最大潮位偏差(m) | |
|-----|--------|-------------|-----------|
| | | 台風 9119 号 | 台風 9918 号 |
| 八代海 | 水 俣 | 欠測 | 0.61 |
| | 八 代 | 1.84 | 1.81* |
| 周防灘 | 苅 田 | 1.90 | 2.07* |
| | 青 浜 | 2.44 | 推定値 2.0 |
| | 長府(下関) | 2.81 | 欠測 |
| | 宇 部 | 1.62 | 1.95 |

注) *印は瞬間値である。

八代海沿岸(不知火町, 鏡町, 龍ヶ岳町, 姫戸町)

②第 2 回調査

1999 年 10 月 13 日～14 日

周防灘沿岸(秋穂町, 山口市, 阿知須町, 宇部市, 小野田市, 山陽町, 北九州市)

③第 3 回調査

1999 年 11 月 1 日～2 日

周防灘沿岸(山陽町, 防府市)

対象地点の詳細については, 5. 八代海沿岸の高潮とその被害および 6. 周防灘沿岸の高潮とその被害において後述する。また, 調査の構成員や詳細な日程については付録に示す。なお, 鹿児島湾沿岸では, 高潮による被害が生じなかったため, 高潮に関する調査は実施していない。

3.2 現地調査で得られたデータの整理方法

これらの現地調査では, 陸上において発生した災害の規模を特定することよりはむしろ, 被災地を襲った高潮や波浪の状況を明らかにすることに主眼を置いた。そこ

表-3.1 現地データの信頼度による分類

| 信頼度 | 内 容 |
|-----|---|
| A | ・ピーク付近に欠測のない検潮記録 |
| B | ・波浪による水面の擾乱が少ないところ(防波堤の遮蔽域など, 越波や打ち上げの影響が少ないところ)の浸水の痕跡や証言 ・堤防や護岸の天端と, 浸水高あるいは余裕高とによって最高潮位がはっきりと推定できるもの ・住宅地の地盤高と浸水高とによって, 最高潮位がはっきりと推定できるもの |
| C | ・遡上や越波によると考えられる浸水の痕跡 ・越流を免れた堤防や護岸の天端高(余裕高が不明な場合) |
| D | ・ピーク付近が欠測した検潮記録 ・越流した堤防や護岸の天端高(越流高が不明な場合) ・ドアがしっかりと閉まっていて比較的遮断性の高い家屋の中の浸水の痕跡 ・堤防や護岸からの越流によって浸水した地区で, 背後地の奥行きが広く, 潮位と同じ高さまでは浸水していなかったと考えられる場合 |

で, 最高水位とその起時, その時の波浪や風などの状況を目撃者からヒアリングするとともに, 浸水の痕跡や目撃証言などに基づいて浸水面のレベル測量を行った。また, 関係官署からも浸水の状況に関する資料を収集した。こうして集めたデータは, 検潮記録とともに表-3.1に示すような分類を試みた。すなわち, ほぼ被災時の潮位

を表していると考えられるものを信頼度Bとした。また、はっきりとした潮位は分からなくても、「ここまでは高くなかった」あるいは「少なくともこれより高くなった」というデータがあれば、被災時の状況を明らかにする重要な手がかりになる。そこで、これらもそれぞれ信頼度C、信頼度Dとして活用した。信頼度Cと信頼度Dのデータは、単独ではあまり役立たないが、これらを組み合わせることによって被災時の潮位をしぼり込むのに役立つ。

4. 数値計算の方法

4.1 台風の気圧分布と風

台風の気圧分布は、次式に示す Myers の式で与えた。

表-4.1 台風の中心位置および半径

| 日 | 時 | 中心緯度 (deg) | 中心経度 (deg) | 中心気圧 (hPa) | 半径 (km) | 移動速度 (km/h) |
|----|------|---------------|---------------|---------------|------------|----------------|
| 23 | 0 | 26.6 | 127.2 | 930 | 45.0 | 11.1 |
| | 3 | 27.0 | 127.2 | 930 | 45.0 | 13.0 |
| | 6 | 27.4 | 127.3 | 930 | 45.0 | 14.8 |
| | 9 | 27.8 | 127.3 | 930 | 45.0 | 14.8 |
| | 12 | 28.3 | 127.5 | 930 | 45.0 | 16.7 |
| | 15 | 28.9 | 127.8 | 935 | 46.3 | 20.4 |
| | 18 | 29.5 | 128.1 | 935 | 47.5 | 24.1 |
| | 19 | 29.7 | 128.2 | 935 | 47.9 | 24.1 |
| | 20 | 30.0 | 128.3 | 935 | 48.3 | 24.1 |
| | 21 | 30.4 | 128.6 | 935 | 48.8 | 25.9 |
| | 22 | 30.5 | 128.6 | 935 | 49.2 | 27.8 |
| | 23 | 30.8 | 128.8 | 935 | 49.6 | 31.5 |
| 24 | 0 | 31.0 | 129.0 | 935 | 50.0 | 31.5 |
| | 1 | 31.3 | 129.2 | 935 | 51.3 | 33.3 |
| | 2 | 31.5 | 129.4 | 935 | 52.5 | 33.3 |
| | 3 | 31.7 | 129.7 | 935 | 53.8 | 35.2 |
| | 4 | 32.2 | 129.9 | 940 | 55.0 | 37.0 |
| | 5 | 32.6 | 130.3 | 945 | 53.8 | 40.7 |
| | 6 | 33.0 | 130.5 | 950 | 52.5 | 44.4 |
| | 7 | 33.3 | 130.8 | 950 | 51.3 | 44.4 |
| | 8 | 33.8 | 131.2 | 950 | 50.0 | 50.0 |
| | 9 | 34.3 | 131.3 | 960 | 50.0 | 51.9 |
| | 10 | 34.8 | 131.8 | 960 | 60.0 | 57.4 |
| | 11 | 35.3 | 132.2 | 960 | 70.0 | 59.3 |
| 12 | 35.7 | 132.6 | 965 | 80.0 | 61.1 | |

$$p(r) = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (4.1)$$

ここに、 $p(r)$ は台風の中心から距離 r (m)だけ離れた点の気圧(hPa)、 p_c は台風の中心気圧(hPa)、 Δp は気圧深度(hPa)で1,013hPaを基準とした。 r_0 は台風の半径(m)である。後述する高潮計算には表-4.1に示す値を用いた。これらの値のうちで、台風の中心の緯度、経度、気圧は気象庁発表によるものである。また、半径は、それぞれの時刻において、台風の中心に近い3~5カ所の気圧から式(4.1)を用いて逆算した平均的な値とした。なお、図-4.1に九州周辺を通過した時間帯について、各時刻における台風の中心の位置と半径を示す。

このような気圧分布の下で、台風の中心に向かって風が吹き込むと、地球が自転しているために北半球では風向が右側にそれ、その結果として反時計回りの渦を形成する。この風を傾度風といい、その風速 U_{gr} (m/s)は

$$U_{gr} = -\frac{rf}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf}{2}\right)^2 + \frac{\Delta p}{\rho_a} \frac{r_0}{r} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \quad (4.2)$$

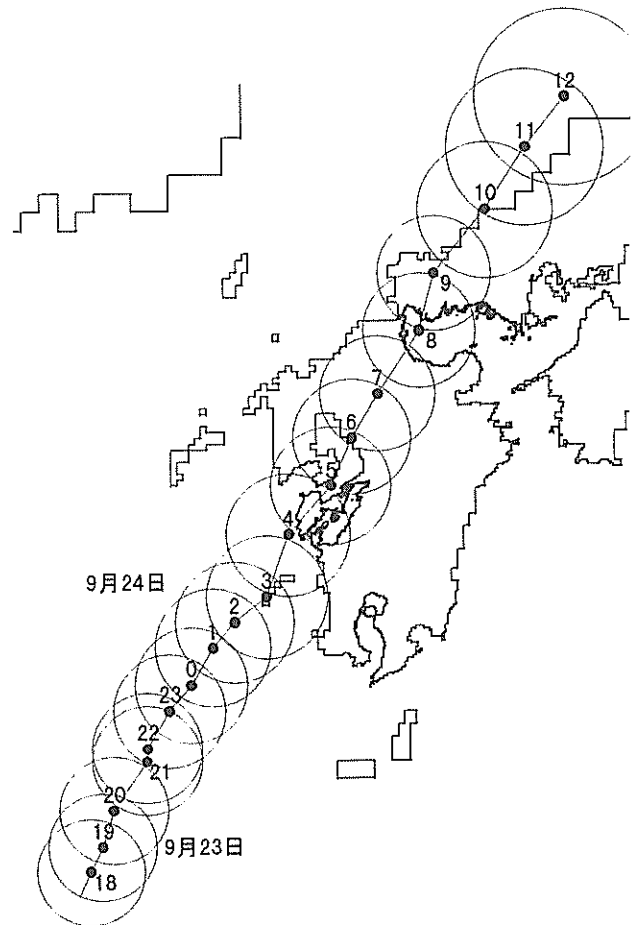


図-4.1 台風9918号の中心位置と半径

で与えられる。ここに、 f は Coriolis の係数(= $2\omega \sin \phi$, ω : 地球自転の角速度= 7.29×10^{-5} rad/s, ϕ : 緯度), ρ_a は大気密度(= 1.22 kg/m^3)である。但し、海面の近くでは海面との摩擦によって風速は小さくなり、風向もやや台風を中心向きになる。そこで、この風速 U_1 (m/s)を、

$$U_1 = C_1 U_{gr} \quad (4.3)$$

で与える。ここに、 C_1 は係数であり、一般に $0.6 \sim 0.7$ が使われており、ここでも 0.7 を基本とした。また、風向の偏向角 θ も一般的に 30 deg 程度の値が使われており、ここでも 30 deg を基本とした。

台風が移動することによっても風が発生する。これを場の風といい、その速度 U_2 (m/s)は、

$$U_2 = C_2 \frac{U_1(r)}{U_1(r_0)} V_T \quad (4.4)$$

で与えられる。ここに、 C_2 は係数であり、ここでは前述の C_1 と同じ値を与えた。 V_T は台風の進行速度(m/s)である。この風の向きは台風の進行方向と同じである。

海面の近くで実際に発生する風は、これら2つの風の成分 U_1, U_2 がベクトル合成されたものと考えることができる。

4.2 海水の運動

海水の運動は単層の非線形長波として扱った。すなわち、連続の式と運動方程式は以下ようになる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \\ &= fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_w} \\ & \quad + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (4.6a)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) \\ &= -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_w} \\ & \quad + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (4.6b)$$

ここに、 η は潮位偏差(静水面からの水面のずれ)、 t は時刻、 x と y は水平方向の座標系、 z は鉛直方向の座標系(海底で $z=-h$, 静水面で $z=0$)、 g は重力加速度、 ρ_w は海水の密度、 p_0 は海面における気圧で式(4.1)の $p(r)$ に対応し、 A_h は水平渦動粘性係数(= $100 \text{ m}^2/\text{s}$)である。また、 M, N はそれぞれ x, y 方向の流量フラックス、 D は全水深であり、

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz \quad (4.7a)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz \quad (4.7b)$$

$$D = h + \eta \quad (4.8)$$

と定義される。ここに、 u, v は水深 z における x, y 方向の流速である。海面せん断応力 τ_{sx}, τ_{sy} , 海底せん断応力 τ_{bx}, τ_{by} は、それぞれ次式で与えた。

$$\tau_{sx} = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.9a)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.9b)$$

$$\tau_{bx} = \frac{\rho_a g n^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (4.10a)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho_a g n^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (4.10b)$$

ここに、 W_x, W_y は海面上10mにおける風速 W の x, y 成分であり、 n は Manning の粗度係数(= 0.025)である。 C_D は抗力係数であり、本多・光易(1980)によると次式によって与えられる。

$$C_D = \begin{cases} (1.290 - 0.024W) \times 10^{-3} & (W \leq 8) \\ (0.581 + 0.063W) \times 10^{-3} & (W > 8) \end{cases} \quad (4.11)$$

これらの方程式を、空間差分にスタックカード格子、時間差分に leap-frog 法を用いた差分式で計算した。

4.3 計算格子および高潮の再現時間

台風 9918 号によって甚大な高潮災害の発生した八代海、周防灘に加え、鹿児島湾についても高潮の再現計算を行った。これら全ての湾を一度に計算することも不可能ではないが、ここでは別々に行った。

計算にあたっては、表-4.2および図-4.2~4.4に示す計算領域を設定した。すなわち、日本列島の南半分を含む一辺約 1,200km の長方形の範囲を第 1 領域として 16.2km 間隔の格子で再現し、その内部に格子間隔が 5.4km, 1.8km, 0.6km, 0.2km の計算領域を順次接続させたものである。八代海、周防灘、鹿児島湾の全域を 0.6km 間隔、さらに地形の複雑な部分については 0.2km 間隔の計算格子で再現した。

高潮を再現する時間は、台風 9918 号の影響がまだ及んでいない時刻から潮位偏差がピークを過ぎて数時間後までとし、それぞれ以下のように設定した。

①八代海：1999年9月23日0時~24日12時

②周防灘：1999年9月23日12時~24日12時

③鹿児島湾：1999年9月23日0時~24日12時

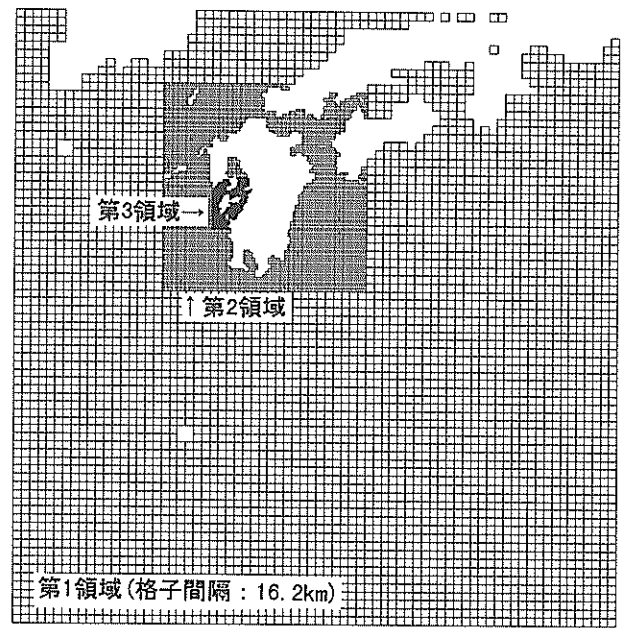
時間差分は 4.0s とし、各時刻における台風の諸元は、

表-4.1に示した1時間または3時間毎の値を内挿して与えた。計算の初期値としては、全計算格子に流れも潮位変化もない条件 ($M=N=0, \eta=0$) を与えた。台風の気圧深度も初期値は 0hPa, つまり気圧低下も風もない状態を与え、最初の3時間で実際の値まで滑らかに立ち上げた。

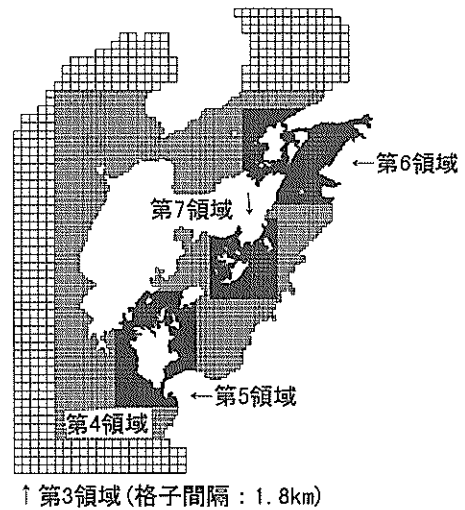
表-4.2 計算格子

| 対 象 | 領域 | 格子数 | 格子間隔 | 再現海域 |
|------|-----|-----------|------|--------|
| | No. | 東西×南北 | (km) | |
| 八代海 | 1 | 74 × 75 | 16.2 | 日本列島南岸 |
| | 2 | 81 × 81 | 5.4 | 九州周辺 |
| | 3 | 57 × 63 | 1.8 | 九州西岸 |
| | 4 | 132 × 135 | 0.6 | 八代海全域 |
| | 5 | 96 × 135 | 0.2 | 八代海湾口部 |
| | 6 | 150 × 111 | 0.2 | 八代海奥部 |
| | 7 | 81 × 96 | 0.2 | 八代海中部 |
| 周防灘 | 1 | 74 × 75 | 16.2 | 日本列島南岸 |
| | 2 | 81 × 81 | 5.4 | 九州周辺 |
| | 3 | 114 × 120 | 1.8 | 瀬戸内海西部 |
| | 4 | 186 × 114 | 0.6 | 周防灘全域 |
| | 5 | 120 × 195 | 0.2 | 周防灘西部 |
| | 6 | 213 × 111 | 0.2 | 周防灘北部 |
| | 7 | 102 × 102 | 0.2 | 周防灘北東部 |
| 鹿児島湾 | 1 | 74 × 75 | 16.2 | 日本列島南岸 |
| | 2 | 81 × 87 | 5.4 | 九州周辺 |
| | 3 | 66 × 57 | 1.8 | 九州南岸 |
| | 4 | 72 × 96 | 0.6 | 鹿児島湾全域 |
| | 5 | 72 × 126 | 0.2 | 鹿児島湾周辺 |

(参考) 第1領域は、八代海、周防灘、鹿児島湾の三湾で同じものを用いている。第2領域は、八代海と周防灘で同じもの、鹿児島湾はこれらを6格子分だけ南側に拡張したものを用いている。

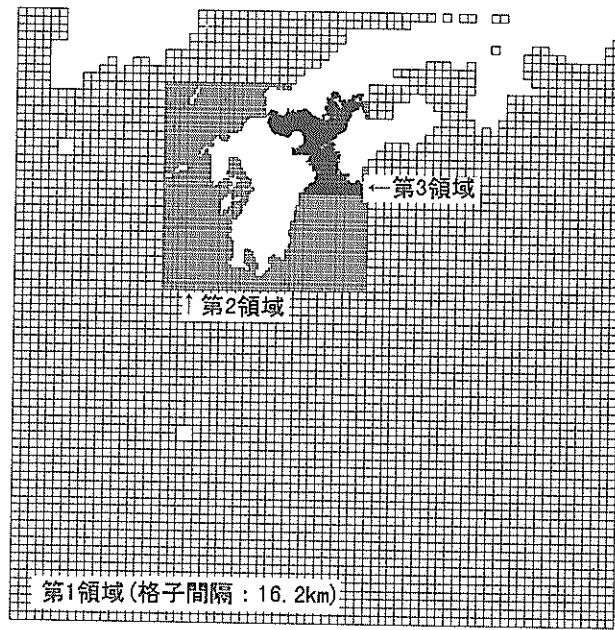


(a) 第1～3領域

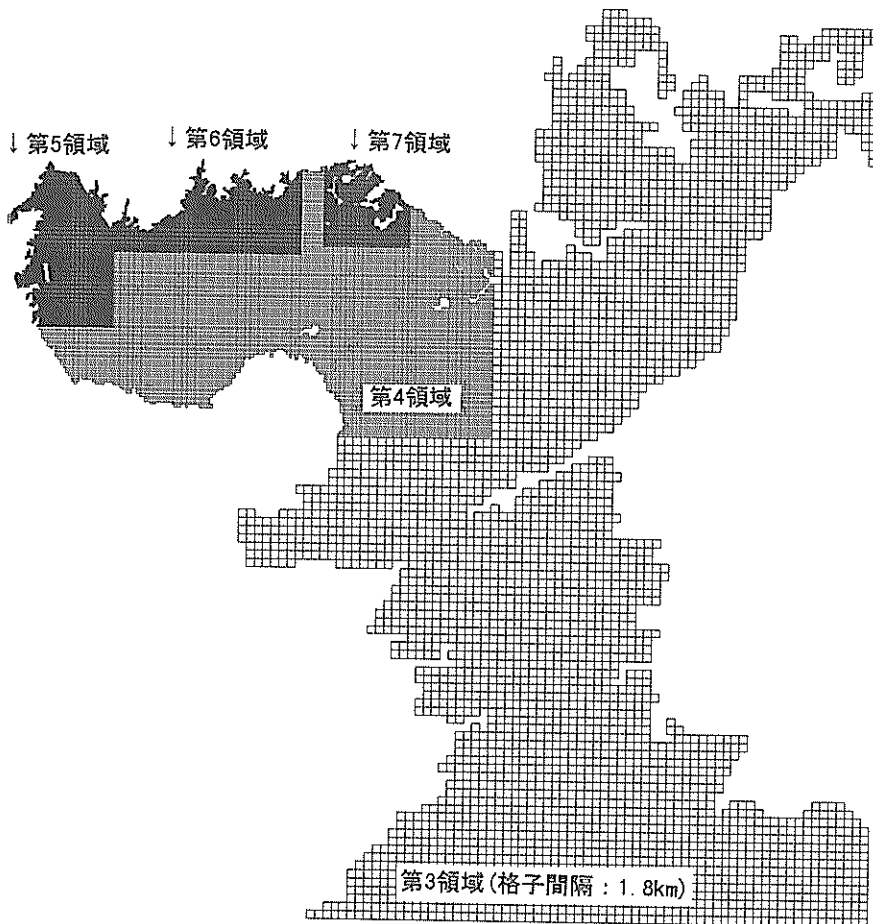


(b) 第3～7領域

図-4.2 八代海の計算用の領域

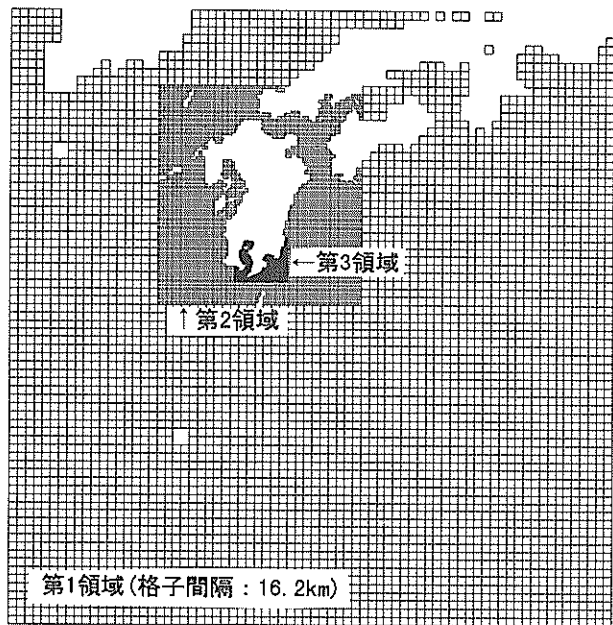


(a) 第1～3領域

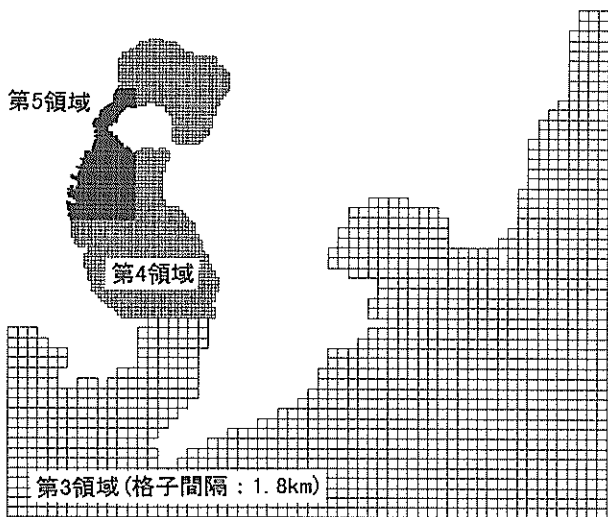


(b) 第3～7領域

図-4.3 周防灘の計算用の領域



(a) 第1～3領域



(b) 第3～5領域

図-4.4 鹿児島湾の計算用の領域

5. 八代海周辺の高潮とその被害

5.1 八代海周辺の高潮

(1) 海底地形の特徴

図-5.1に八代海の海底地形を示す。八代海は、長さ約70km、幅約10km(狭いところで5km)の細長くまっすぐな形状をしており、その軸は九州地方を襲う台風の典型的な進路と平行である。水深は、中央部の最も深いところで50mを超えるところもあるが、三角と八代を結ぶ線より北側では海図基準面C.D.L.下5m未満の浅瀬が続いている。また、湾幅は湾奥へ行くほど狭くなっており、海岸線はV字形をなしている。東シナ海とは黒ノ瀬戸と長島海峡、有明海(島原湾)とも多くの瀬戸を介してつながっているが、これらの幅はせいぜい2km程度と狭い。

(2) 台風9918号による潮位偏差

台風9918号は、八代海の西側を八代海の軸とほぼ平行に30km程度の距離を保って、40km/h程度の速度で通過した。これに伴って生じた、代表地点における潮位偏差の経時変化を図-5.2に示す。また、代表的な時刻における潮位偏差の平面分布を図-5.3に示す。図-5.2に示すように、湾口部に位置する牛深では遅くとも9月24日0時頃には潮位偏差が増加し始めており、台風が牛深に再接近する4時頃に最大となっている。この頃、図-5.3

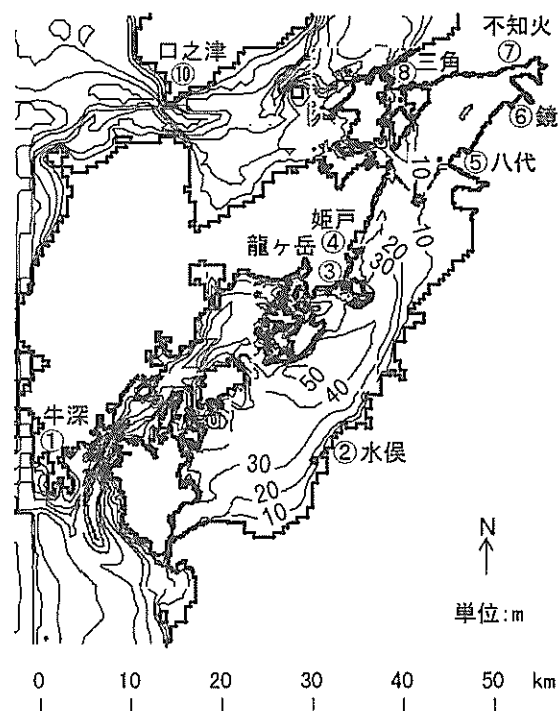


図-5.1 八代海周辺の海底地形

(e)に示すように、湾内の潮位偏差は湾口部で最大となった。この潮位偏差は主として、台風を中心付近の気圧低下に伴う海面の吸い上げによるものと考えられる。

5時になると、図-5.3(d)に示すように、湾口部では潮位偏差が小さくなり、逆に湾中部や湾奥部では顕著に増加し始め、龍ヶ岳などが位置する湾中部の潮位偏差が湾内で最大となった。さらに、5時半になると、図-5.3(e)に示すように、湾奥部の潮位偏差が湾内で最大となった。湾奥に位置する八代や不知火で潮位偏差が最大となったのは、図-5.2に示すように、6時前後であった。この頃、図-5.4に示す三角周辺では、図-5.3(f)および図-5.5に示すように、八代海の潮位偏差は有明海の潮位偏差よりも1mほど大きくなった。八代海と有明海の天文潮位に大きな差がなかったとすれば、八代海から有明海へ海水が流出していたことになる。図-5.6は八代海と有明海とを結ぶ瀬戸の流速(有明海へ流出する向きはマイナスと定義)を示したものであり、特に4時から8時にかけて八代海から有明海へ海水が流出していた。但し、瀬戸の部分の計算格子は0.2km間隔であり、流速の絶対値を議論できるほど細かくはない。

さて、図-5.2に示すように、検潮記録によると三角の潮位偏差には2回のピークがあり、これらは数値計算によっても再現されている。1回目のピークは6時頃であり、台風の再接近から1時間ほど後である。有明海でも、図-5.3(d)~(f)に示すように、潮位偏差の最も大きい海域が、5時に口之津の西側、5時半に口之津の東側、6時には三角の北東方へと移動した。このような潮位偏差の変化には、台風を中心付近の気圧低下が大きく寄与していたものと考えられる。2回目の潮位偏差のピークは8時半頃である。この頃には、図-5.3(k)および図-5.5に示すように、有明海の潮位偏差の方が大きくなっていた。天文潮位に大きな差がなかったとすれば、図-5.6に示すように、今度は有明海から八代海に海水が流入していた可能性がある。

また、図-5.2において、八代にも8時頃に2回目のピークがあり、このピークは数値計算によっても不明瞭ながら確認できる。この起因については、八代海における固有振動の影響などが考えられる。ちなみに、瀬戸を通じて海水の出入がある場合とない場合とで、八代海と有明海の潮位偏差に及ぼす影響を比較すると、図-5.7のようになる。有明海から八代海への海水の流入が、八代の2回目のピークに寄与していたとしても、その寄与度は無視できるほど小さかったようである。

図-5.8は八代における天文潮位を示す。八代海の湾奥部で潮位偏差が最初にピークとなった6時頃は満潮の2

時間ほど前であった。潮位偏差の2つ目のピークは8時頃であるが、6時頃と比べて天文潮位が高くなっているために、合成した潮位では6時頃と大差がなく、八代では0.2m程度低いに過ぎなかった。

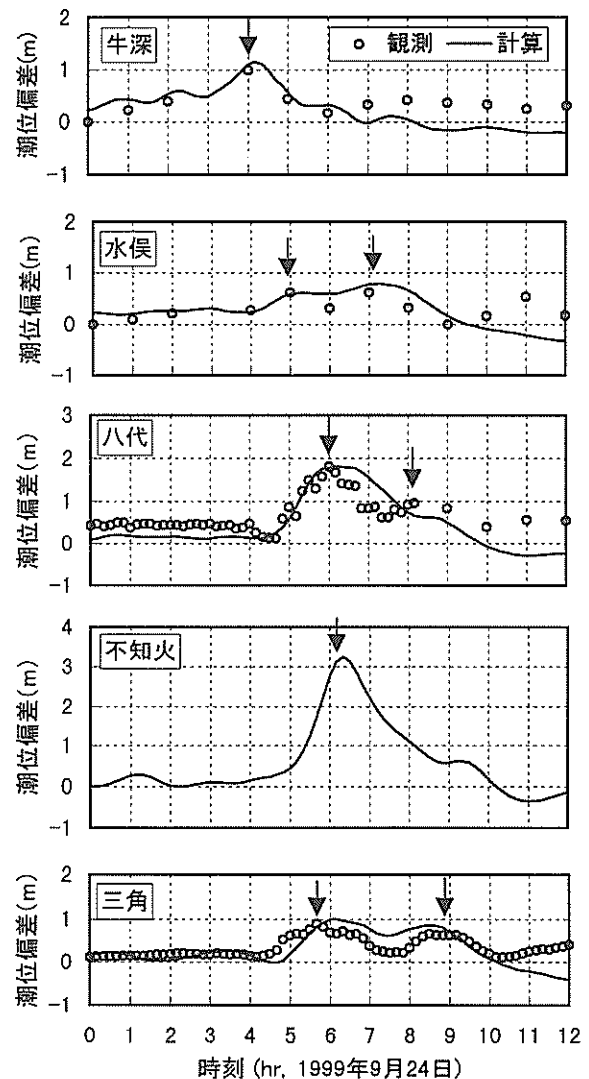
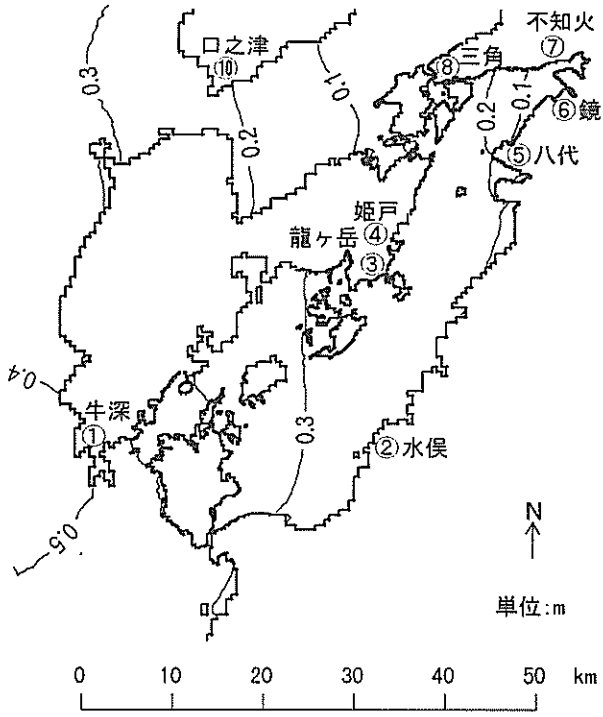
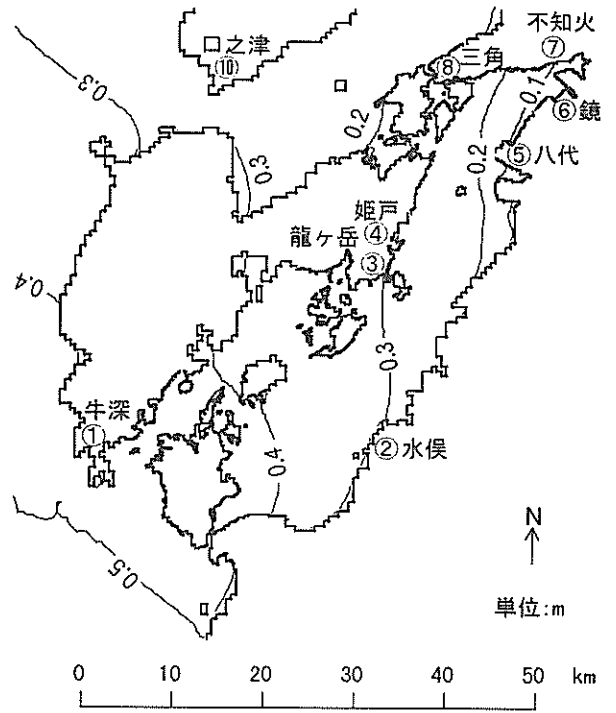


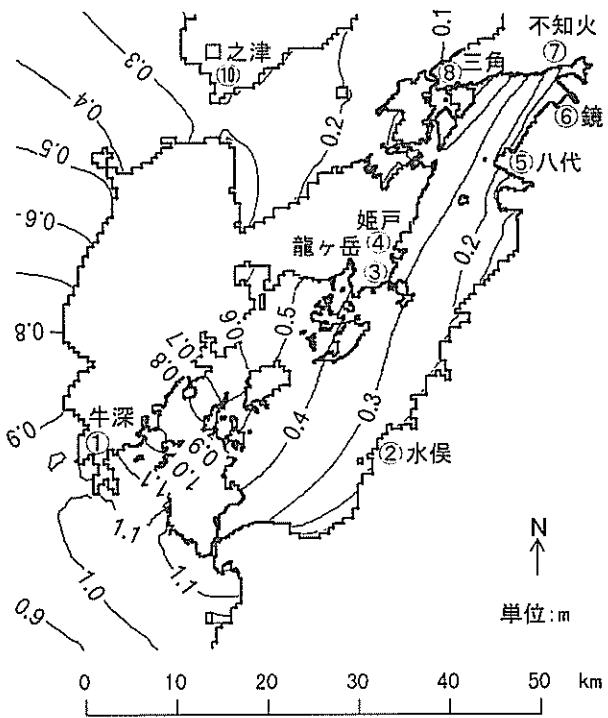
図-5.2 潮位偏差の経時変化(八代海)



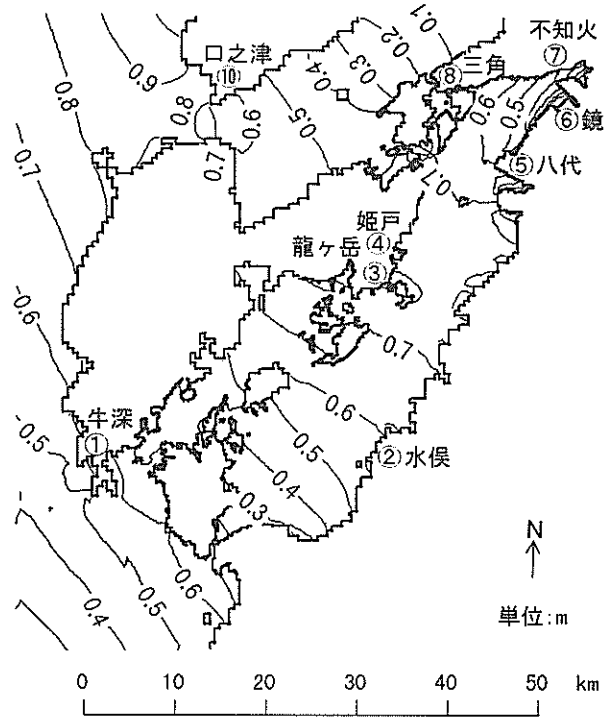
(a) 1999年9月24日2時



(b) 1999年9月24日3時

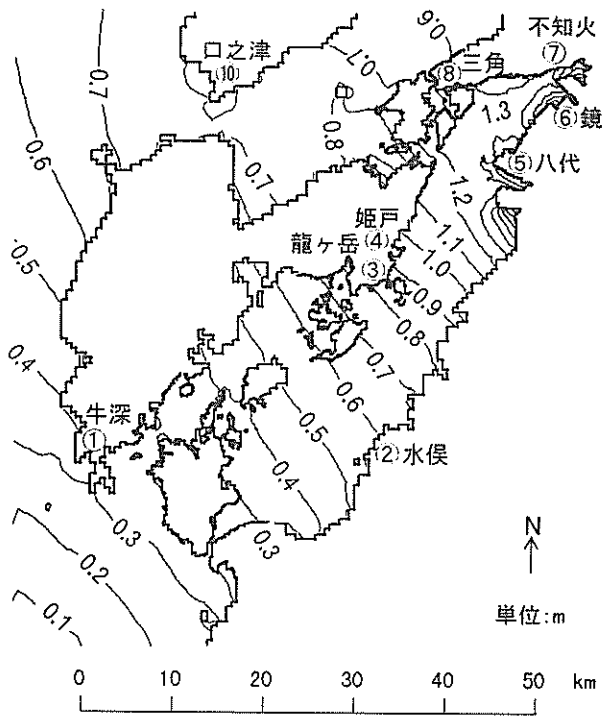


(c) 1999年9月24日4時

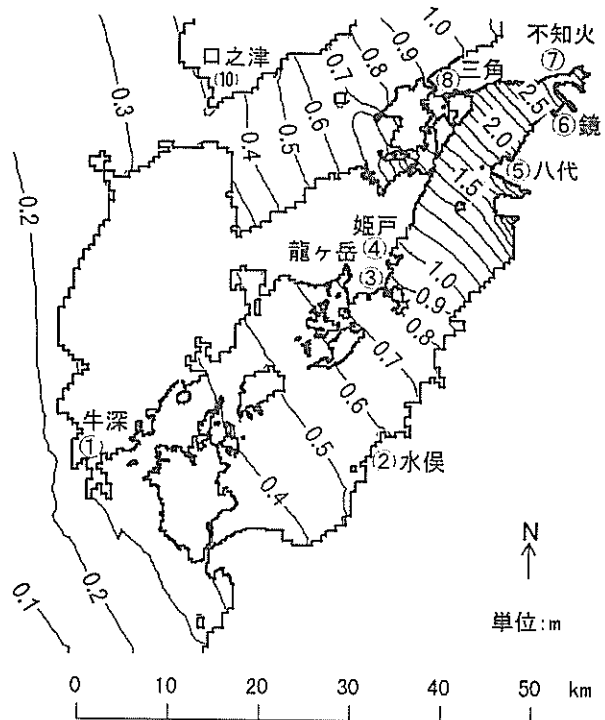


(d) 1999年9月24日5時

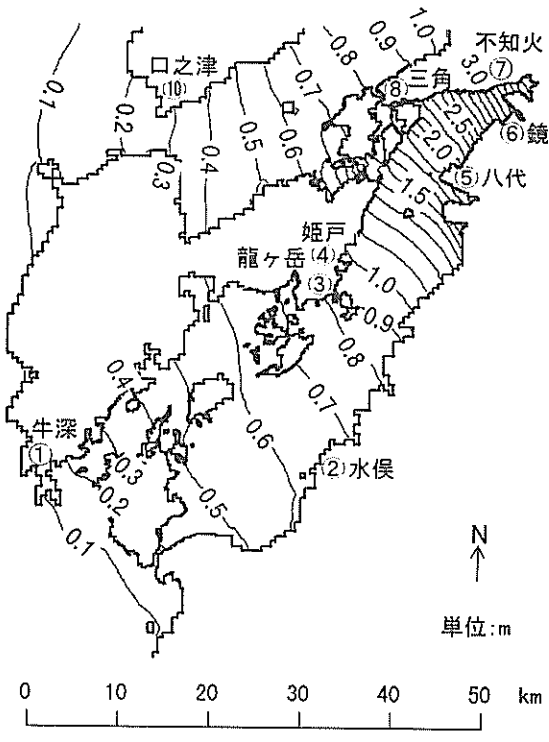
図-5.3 潮位偏差の平面分布(八代海周辺)



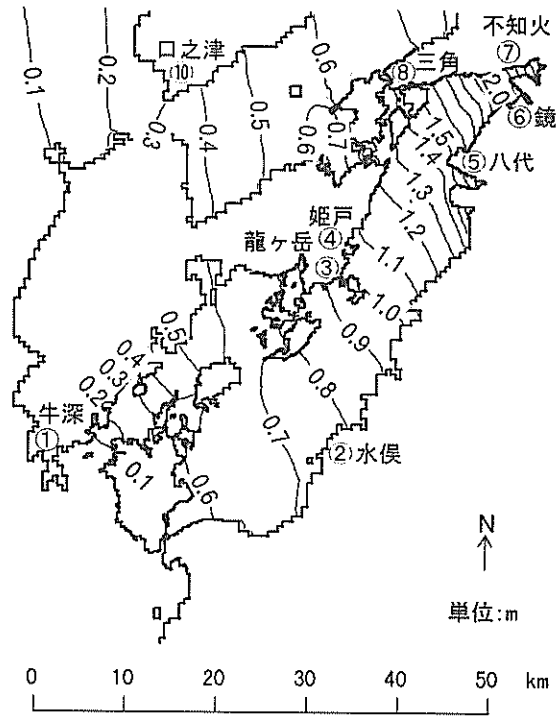
(e) 1999年9月24日5時30分



(f) 1999年9月24日6時

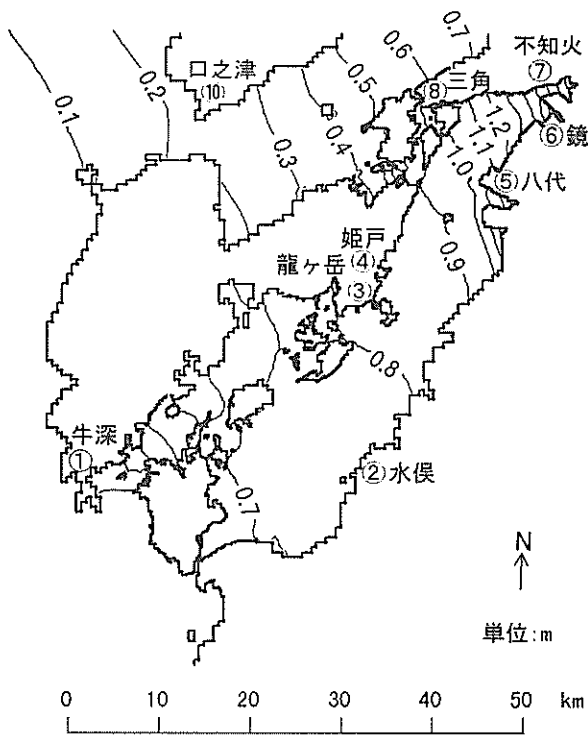


(g) 1999年9月24日6時30分

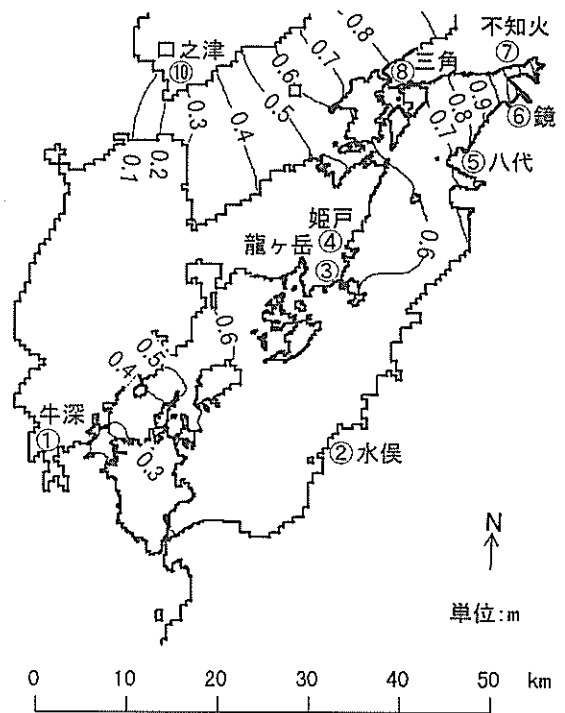


(h) 1999年9月24日7時

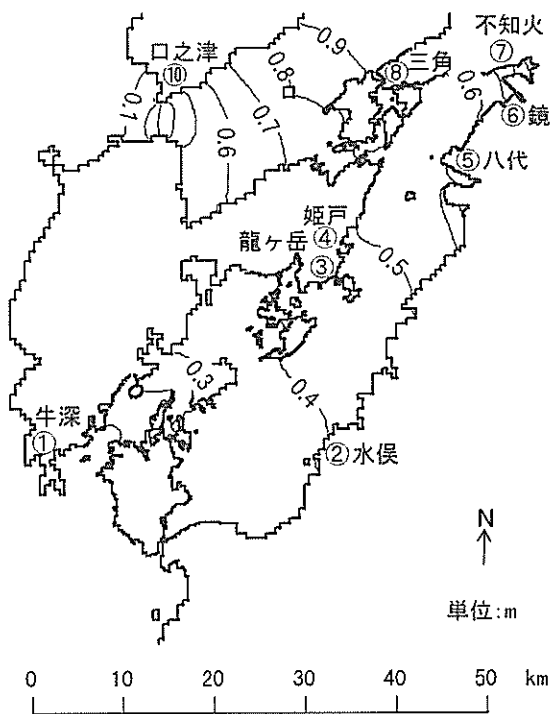
図-5.3 潮位偏差の平面分布(八代海周辺)



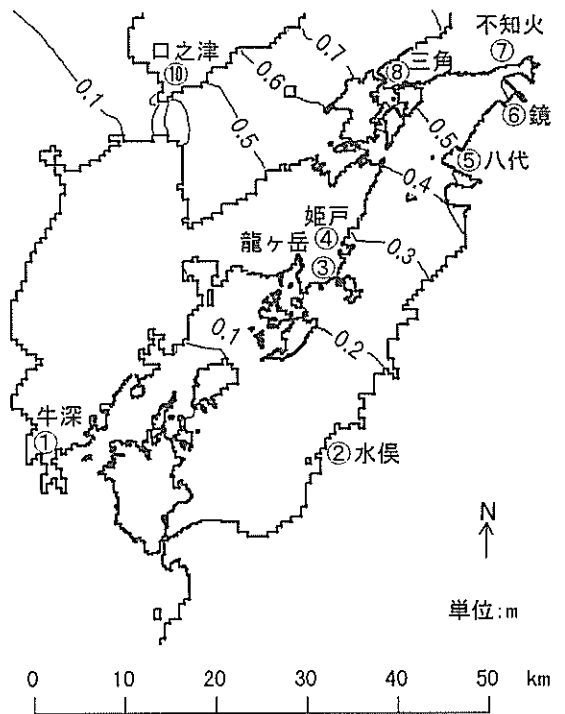
(i) 1999年9月24日7時30分



(j) 1999年9月24日8時



(k) 1999年9月24日8時30分



(l) 1999年9月24日9時

図-5.3 潮位偏差の平面分布(八代海周辺)

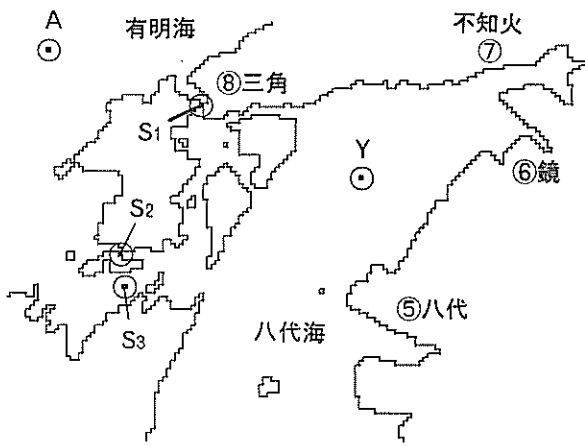


図-5.4 三角周辺の地形

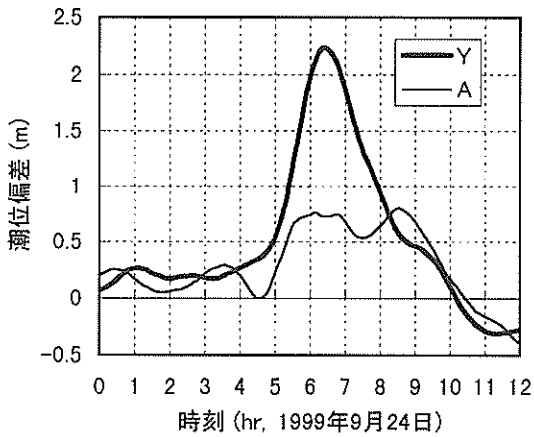


図-5.5 八代海と有明海の潮位偏差の経時変化

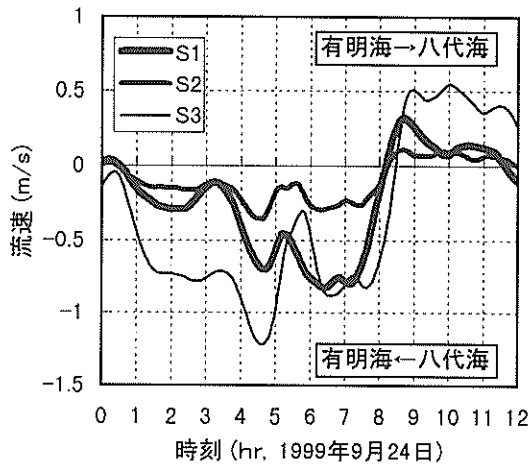


図-5.6 瀬戸の流速の経時変化

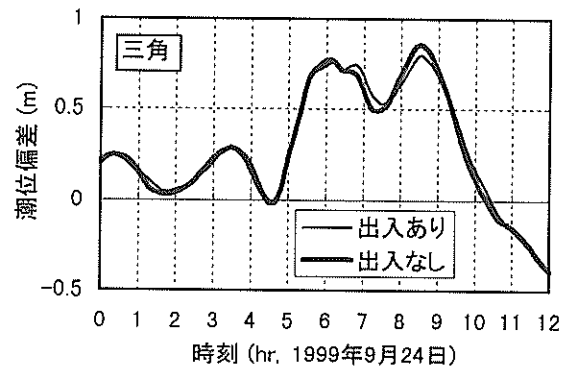
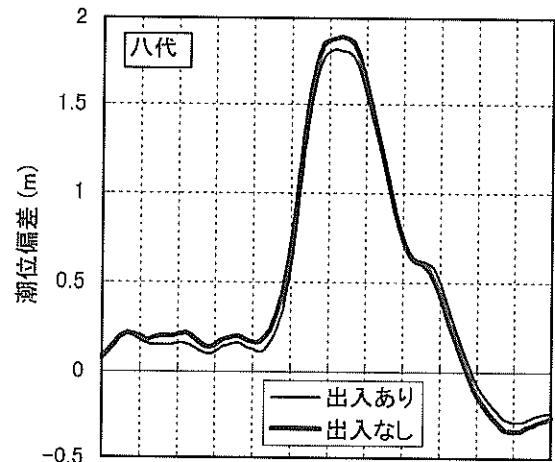


図-5.7 瀬戸による海水の出入が潮位偏差に及ぼす影響

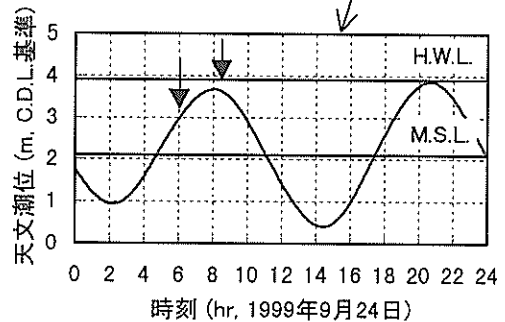
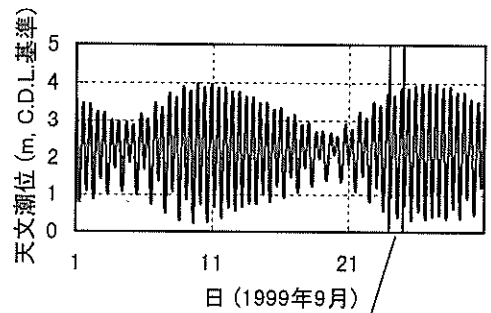


図-5.8 天文潮位の変化(八代)

最大潮位偏差は、図-5.9に示すように、水俣など八代海南部で1m以下、北部の八代周辺で2m程度であった。八代より北側では湾奥に行くほど著しく大きくなり、不知火周辺では3mを上回った。この最大潮位偏差の計算結果は、図-5.10に示すように、検潮記録や現地痕跡調査の結果とも概ね一致している。なお、三大湾(東京湾、

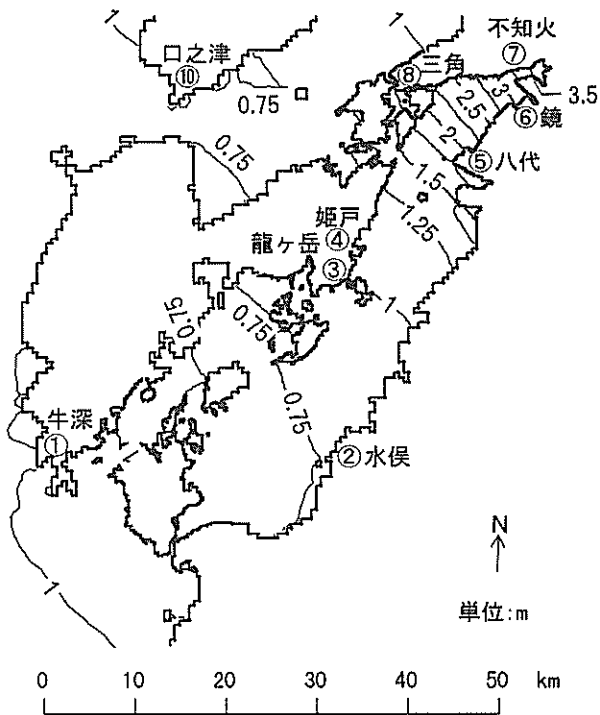


図-5.9 最大潮位偏差の分布(八代海)

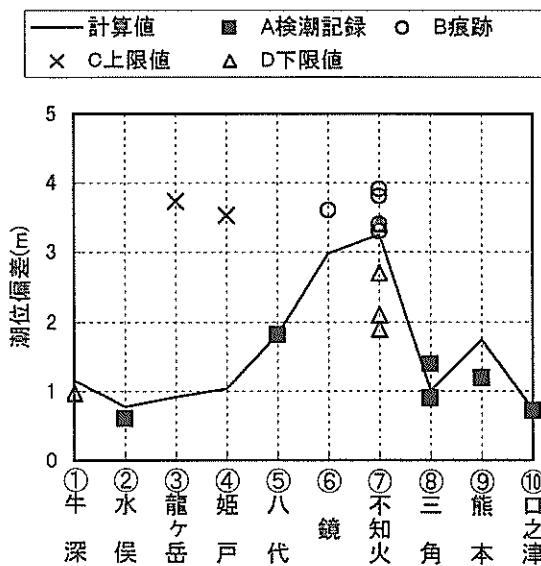


図-5.10 最大潮位偏差の比較(八代海周辺)

伊勢湾、大阪湾)の湾奥には、八代海のような浅瀬はなく湾幅も広いため、八代海ほど急激な潮位偏差の増加は見られない。

(3) 潮位偏差に及ぼす要因

現実にはあり得ない仮定であるが、気圧差はあるが無風の台風による潮位偏差 ζ_p と、気圧差はないが風は吹く台風による潮位偏差 ζ_w を計算した結果を図-5.11に示す。湾奥に位置する水俣や龍ヶ岳では、潮位偏差全体の2/3程度が吸い上げによるものであり、この吸い上げによる潮位偏差分は静的な吸い上げ量(1hPaにつき0.99cm)にほぼ等しい。一方、湾奥では風下側にあたるために吹き寄せによる潮位偏差が卓越し、不知火では潮位偏差全体の約2/3を占めている。なお、このように湾奥に向かうほど吹き寄せによる潮位偏差が卓越することは、東京湾などでも示されている(宇野木ら, 1966)。また、吸い上げによる潮位偏差と吹き寄せによる潮位偏差の和($\zeta_p + \zeta_w$)は、吸い上げと吹き寄せを同時に考慮した実際の台風の潮位偏差 ζ_{p+w} より僅かに大きくなっている。

図-5.12は、牛深も含めて、気圧、風向、風速、潮位偏差の経時変化を示す。台風が牛深を通過したのは4時頃であり、この時に吸い上げによる潮位偏差も最大となっている。しかしながら、八代海を奥へ進むほど、吸い上げによる潮位偏差が最大となる時刻は気圧が最低となる時刻よりも遅れている。これは、図-5.1で示したように、八代海の湾口が狭く、また湾奥部の水深が浅いためであると考えられる。ちなみに、長波の伝播速度が台風の進行速度の40km/hとなる水深は13mである(表-5.1を参照)。さらに、不知火では、図-5.11で示したように、

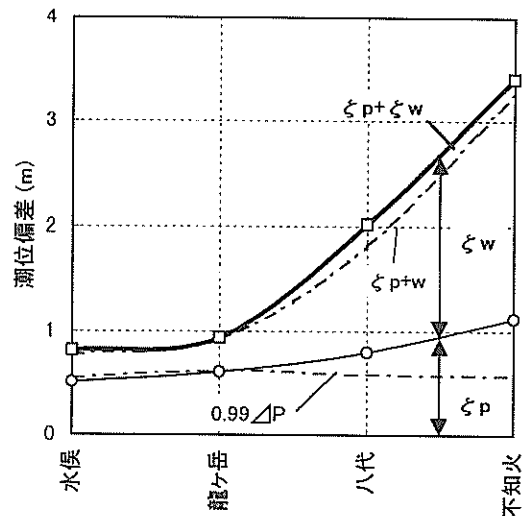


図-5.11 吸い上げと吹き寄せの効果

表-5.1 長波の伝播速度

| 水深 (m) | 波速 (m/s) | 波速 (km/h) | 備考 |
|--------|----------|-----------|--------------------------|
| 5 | 7.0 | 25 | 湾奥部(八代, 不知火など)の水深 |
| 10 | 9.9 | 36 | 湾口部(水俣など), 湾央部(龍ヶ岳など)の水深 |
| 20 | 14.0 | 50 | |
| 40 | 19.8 | 71 | |

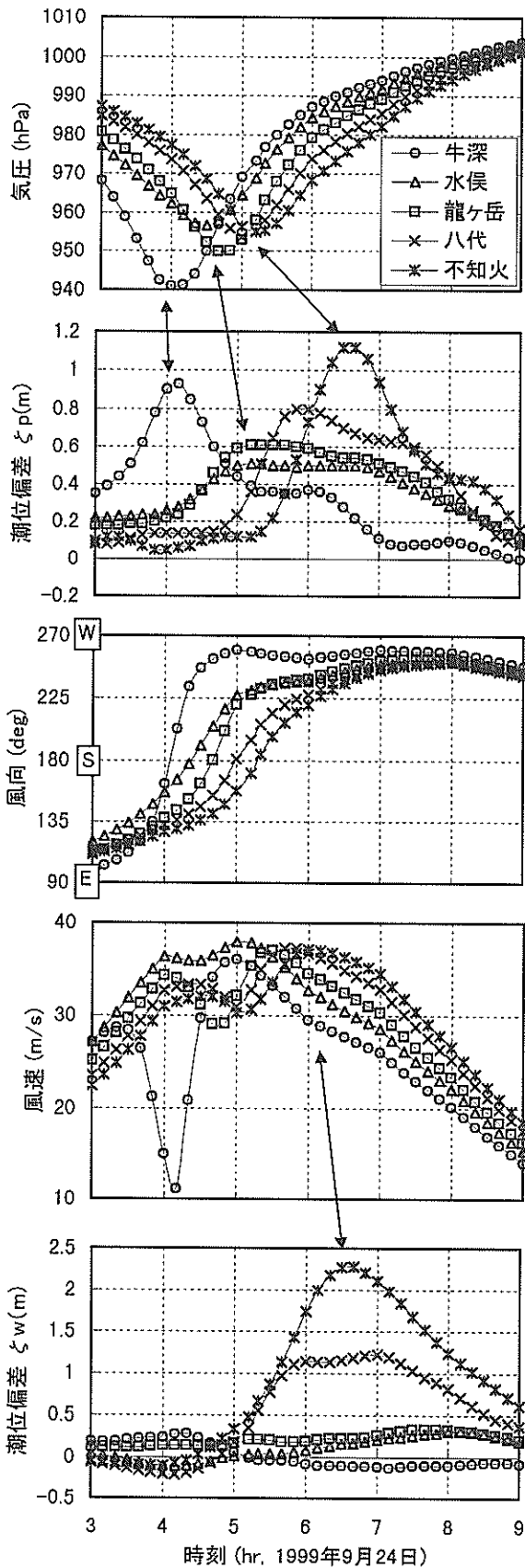


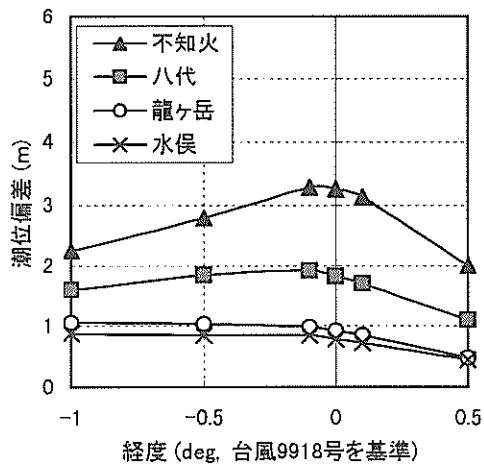
図-5.12 気圧, 風, 潮位偏差の経時変化

潮位偏差が静的な吸い上げ量より大きくなっている。その原因としては、湾奥の水深が浅いことに加えて、湾形がV字形をしていることも考えられる。一方、進行する台風で風が最も強いのは台風の中心の右やや後方であるため、吹き寄せによる潮位偏差が最大となったのも、気圧が最低となった時刻より後であった。その結果、吸い上げによる潮位偏差と吹き寄せによる潮位偏差がほぼ同時に最大となった。

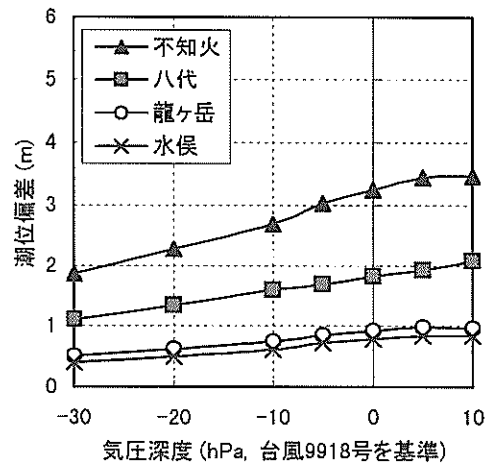
図-5.13は、実際に来襲した台風 9918 号の時の条件を基準として、台風のコース、中心気圧、進行速度、天文潮位を変えたときの、主要地点における潮位偏差を示したものである。まず、(a)に示すように、台風 9918 号のコースは湾奥の不知火や八代に対してほぼ最悪のコース(潮位偏差を最大にするコース)であったことが分かる。湾央の龍ヶ岳や水俣に対しては、実際のコースよりも西寄りのコースが最悪のコースとなるが、発生する潮位偏差にはほとんど差はない。なお、中心気圧、半径、進行速度の異なる他の台風に対しては、必ずしも台風 9918 号のコースが最悪のコースになるとは限らない。

台風 9918 号が八代海のそばを通過した頃の中心気圧は 945hPa 程度であった。(b)に示すように、もし気圧深度が 10hPa 大きければ(中心気圧が 935hPa 程度であったならば)、不知火での潮位偏差はさらに 0.2m 程度大きかったものと考えられる。台風の風には気圧差によって生じる成分と台風の移動に伴う成分とがあり、後者は台風の進行速度に比例する。台風 9918 号は 40km/h 程度と平均的な速さで進行したが、もしこれより速い速度で進行していたら、さらに大きな潮位偏差が生じていた可能性がある。

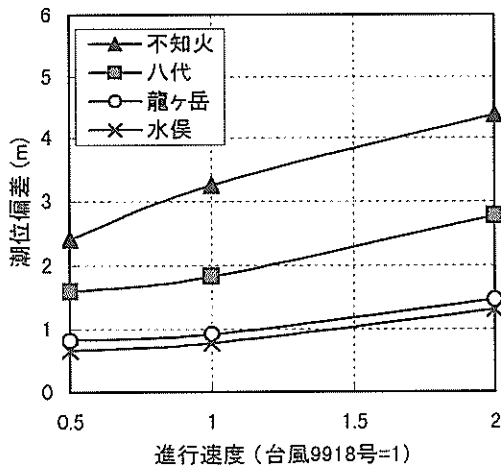
なお、高潮の計算では一般に天文潮位を一定として潮位偏差のみを計算する方法がとられているが、(d)に示すように、天文潮位の取り方による潮位偏差の違いは比較的小さい。



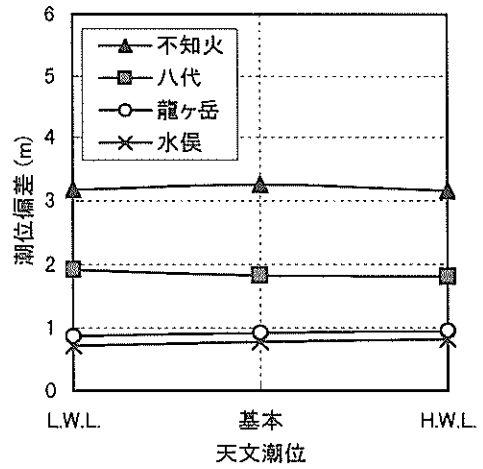
(a) 台風のコース



(b) 台風の中心気圧



(c) 台風の進行速度



(d) 天文潮位

図-5.13 台風の条件や天文潮位と潮位偏差

5.2 八代海沿岸での被害

八代海沿岸では、1999年9月28日～29日に、龍ヶ岳町から不知火町を経て対岸の鏡町に至る範囲を対象に現地調査を行った。

(1) 龍ヶ岳町

図-5.14に示す、龍ヶ岳町の小屋河内漁港のすぐ西側の地区には、写真-5.1に示すような消波工で被覆された護岸があり、その背後は住宅地となっている。この地区は八代海に直接面し、護岸の前方には防波堤や島など波浪を遮るものはない。八代海で発達した波浪が直接来襲しやすい地形条件となっている。海から1列目の住宅では、写真-5.2に示すように、ブロック塀が倒壊したり、一階の窓や壁が破壊された。2列目以降の住宅は浸水ただけで、窓や壁の破壊はあまりなかった。なお、午前

4時50分に町内全域に避難勧告が発令されたこともあり、幸いにも死者を出す惨事には至らなかった。

さて、住民の証言によると、海面は護岸のパラペットが見えなくなるほど高くなり、住宅地では腰上まで浸水した。この時の状況を模式的に示すと図-5.15のようになり、水位はC.D.L.+6.2m程度であったと考えられる。さらに住民の証言によると、最も浸水したのは午前5時頃であった。被災した住宅の振り子時計には5時を指して止まっているものもある。これは「5時ちょうど」に水位が最高となったという証拠にはならないが、浸水が短い時間(例えば10分程度)で生じたという証言もあり、「5時前後」に水位が最高になったことは推測できる。この時の天文潮位はC.D.L.+2.3mであり、証言による水位が潮位であるならば、潮位偏差は約4mにもなる。

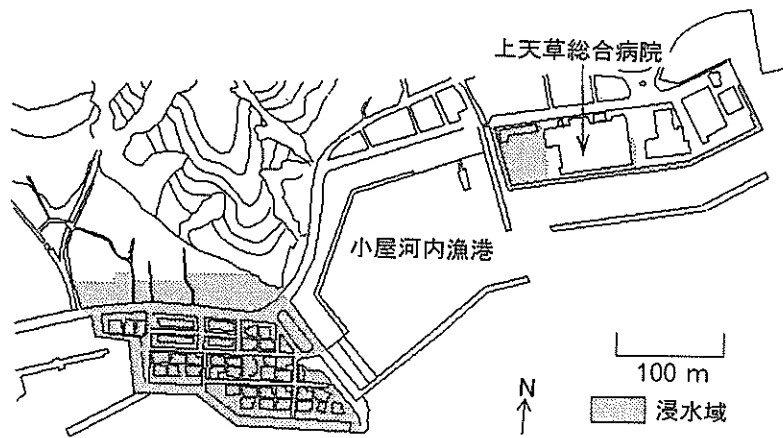


図-5.14 小屋河内漁港周辺(龍ヶ岳町)



写真-5.1 住宅地前方の護岸(住民の話では、パラペットが見えなくなるほど海面が高くなった。)

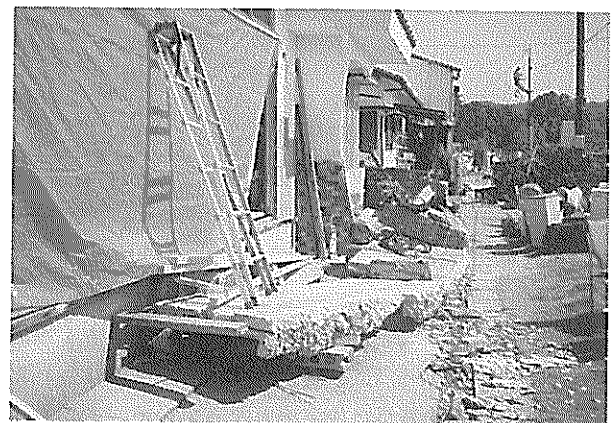


写真-5.2 被災した家屋(鉄筋コンクリートの壁が倒壊し、住宅は床上浸水した。)

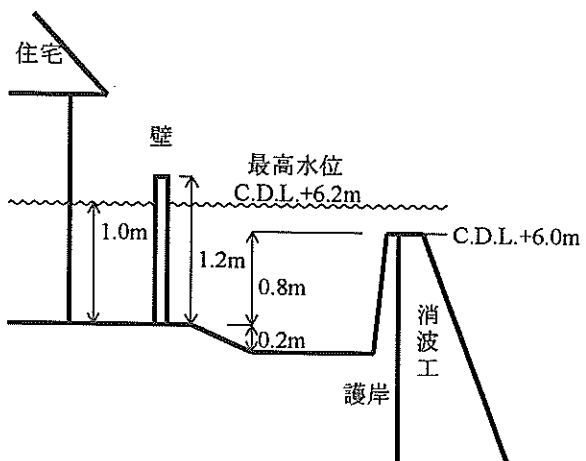


図-5.15 護岸と住宅地の断面

ところが、図-5.16に示すように、数値計算によってこの地区の潮位偏差を追算すると1m程度であり、天文潮位と合わせた潮位は護岸よりも3m程度低い。したがって、住宅地の水位が潮位に対応するものであるとは考えにくい。また、もしこの水位まで潮位が上昇していたならば、高波によって、住宅の損傷は一階の窓や壁だけでなく、屋根にも及んでいたものと考えられる。

一方、小屋河内漁港の東側に位置する上天草総合病院の風速計では、図-5.17に示すように、午前4時に平均風速36m/sを記録しており、八代海には強風が吹いていた。

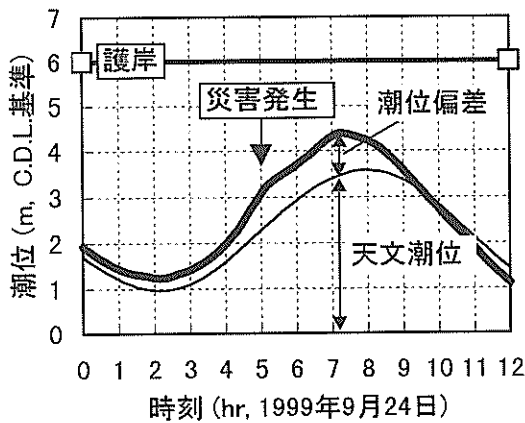


図-5.16 龍ヶ岳で推定される潮位の変化

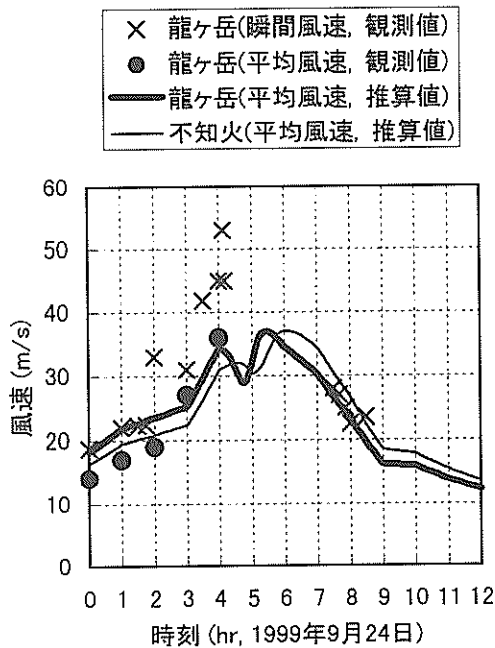


図-5.17 龍ヶ岳での風速の変化

た。SMB法による波浪推算でも有義波高が2m程度の波浪が推定される。つまり、小屋河内地区の住宅地が浸水した時には、高潮に加えて高波も来襲していたものと考えられる。それを裏付けるように、小屋河内漁港では、写真-5.3に示すように、防波堤(パラペットの天端高はC.D.L.+5.4m、方塊3段に上部工を載せた構造)の堤頭部が被災した。また、小屋河内漁港から2kmほど西に位置する大道港でも、写真-5.4に示すように、防波堤(パラペット部の天端C.D.L.+6.0m)が延長120mにわたって被災した。したがって、小屋河内地区の住宅地の浸水には、越波も大きく影響していたものと考えられる。

(2) 姫戸町

二間戸港では、写真-5.5に示すように、突堤(天端高

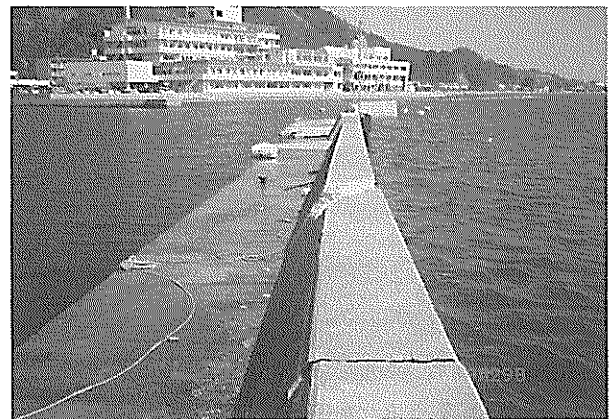


写真-5.3 小屋河内漁港の防波堤(被災前は防波堤がブイの位置まで伸びていた。対岸に見える大きな建物は上天草総合病院である。)



写真-5.4 大道港の防波堤(沖に離岸堤のように見える防波堤は、もともとは手前の防波堤とつながっていた。)

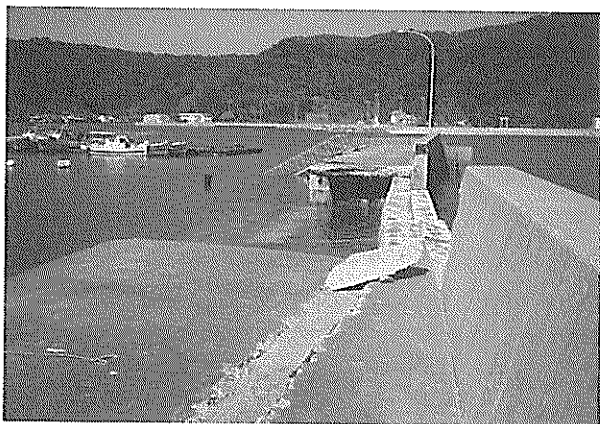


写真-5.5 二間戸港の防波堤

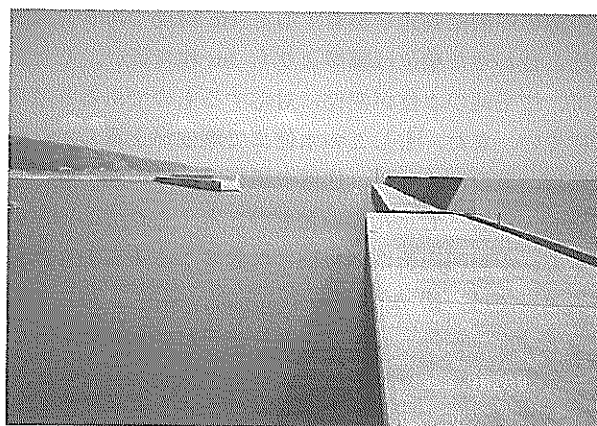


写真-5.7 松合漁港の防波堤



写真-5.6 永目港のポンツーン



写真-5.8 仲西船溜 (干潮時に撮影した。後方は国道の橋である。)

C.D.L.+6.0m)は上部工と壁の一部が破壊され、中詰の砂利も飛び出した。突堤の破片は港内側に沈んでいる。この突堤のそばにある護岸では、越波によって鉄筋コンクリート製の壁が倒壊した。護岸の上には貝殻の破片も大量に散乱していた。地元の方の話によると、護岸の天端を越えるほど潮位は高くならなかったが、とにかく越波が非常に激しかったとのことである。

永目港では、ポンツーンを係留するチェーンが切断され、ポンツーンが流される被害も出た。写真-5.6に示すように、ポンツーンそのものも破損して沈みかけた状態になっている。

(3) 不知火町松合地区

不知火町松合地区には図-5.18に示すように、海岸に沿って堤防(場所によるがパラベットの天端高はC.D.L.+7.0m以上)があり、国道として使用されている。堤防の海側には写真-5.7に示すような防波堤がある。陸側には、堤防に直交するように3つの船溜(西側から順に、和田船溜、仲西船溜、山須船溜)があり、これらの護岸の天

端高はC.D.L.+5.5m程度である(写真-5.8を参照)。船溜の入口に国道の橋が架かっており、その外側には波除堤があって、波浪は船溜に侵入しにくくなっている。船溜の周りは住宅地となっているが、国道と旧道の間の中の国道寄り約半分の住宅地は、地盤高が船溜の護岸よりも約2m低く、なおかつ朔望平均満潮位H.W.L.よりも約1m低い。なお、図には、浸水の痕跡やヒアリング調査に基づいて測定した最高水位も示した。

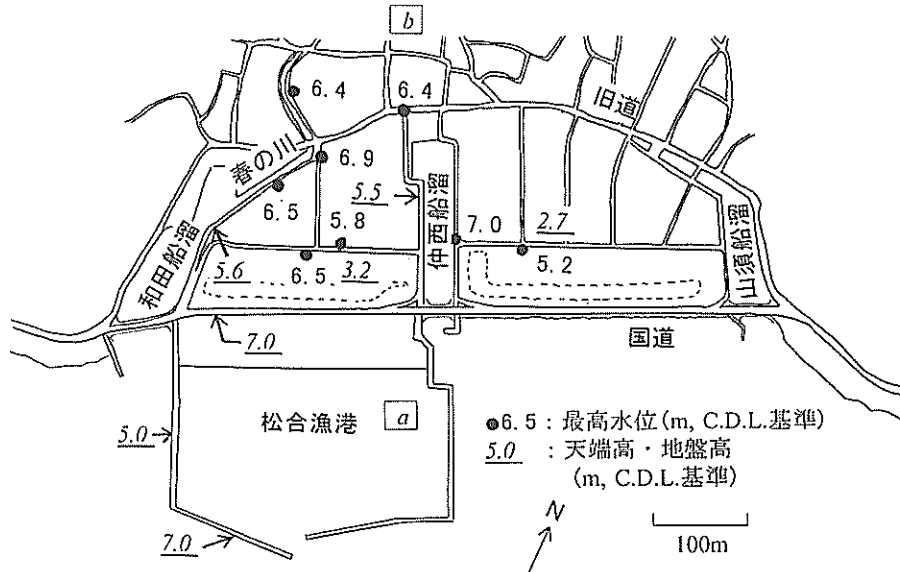
住民の証言によると、午前5時50分頃に船溜から大量の海水が溢れ、5分ないし10分という短時間で船溜に囲まれた低い住宅地は池のようになった。また、浸水した家屋の時計の多くは5時50分頃を指して止まっていた。龍ヶ岳町小屋河内地区での被災が5時前後と推定されるので、この地区の浸水はそれから1時間後ということになる。

写真-5.9は和田船溜(春の川)の東側の堤防(天端高はC.D.L.+5.6m)であり、船溜から溢れた海水によって法肩

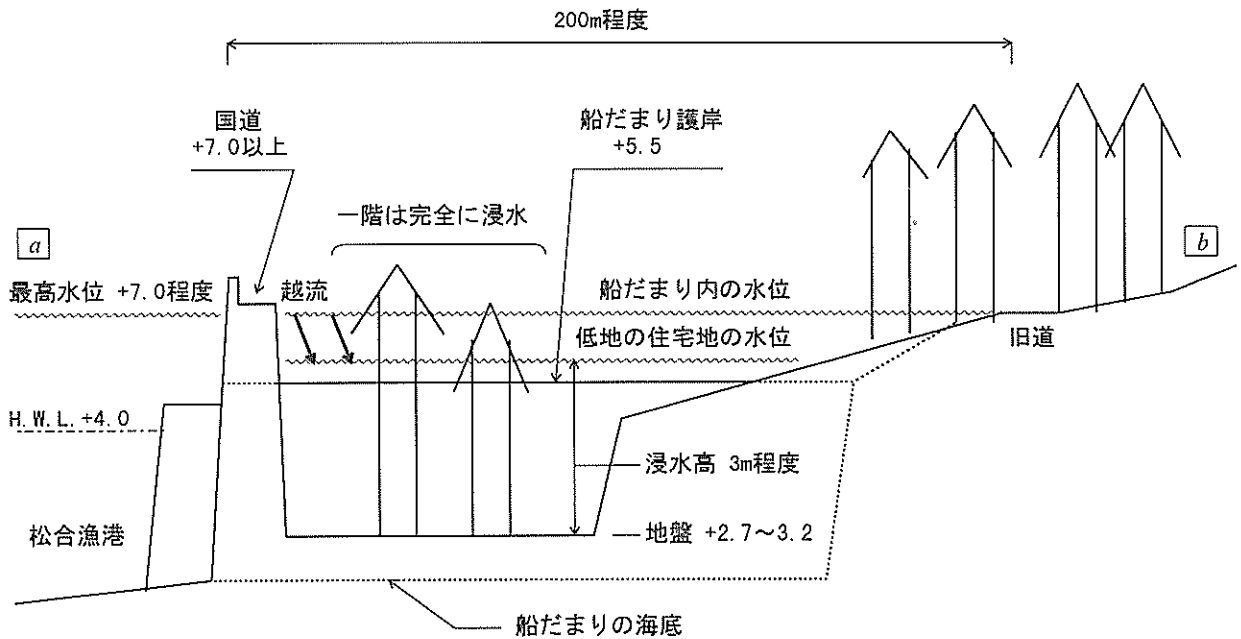
や法面が洗掘された。写真-5.10~5.11は浸水した住宅地である。壁や屋根には付近の工場から流出した初穀が付着しており、ここまで浸水したものと考えられる。これらの家屋の周辺で浸水高を測定すると2.6~3.3mであり、住宅の一階部分は完全に浸水した。住民の中には天井を破って屋根にはい上がって難を逃れた人もいたそうである。この周辺の住宅の壁に残っていた痕跡などから判断すると、和田船溜・春の川と仲西船溜の間では水

位がC.D.L.+5.8~6.9mには達し、仲西船溜と山須船溜の間でもC.D.L.+5.0~5.2mには達していた。

この浸水は旧道の周辺まで達し、春の川沿いなどでは旧道よりさらに山側まで達した。春の川沿いの痕跡はC.D.L.+6.4~6.9mであり、船溜に囲まれた低地よりも高くなっている。また、仲西船溜の東側の護岸に立つカーブミラーの柱についている「注意」というプレートの「意」という文字が見えなくなるほど水位が高くなったと



(a) 平面図



(b) 断面図

図-5.18 松合地区(不知火町)の地形と浸水の状況

いう証言もある(写真-5.12を参照)。この高さはC.D.L.+7.0mである。このときの天文潮位がC.D.L.+3.1mであり、もしこの水位が国道を兼ねた堤防の外側の潮位と同じ高



写真-5.9 和田船溜の東側の堤防(右手にある家屋の一階部分も浸水した。)



写真-5.10 浸水した家屋(和田船溜と仲西船溜の中間付近の住宅で、壁に痕跡がある。)

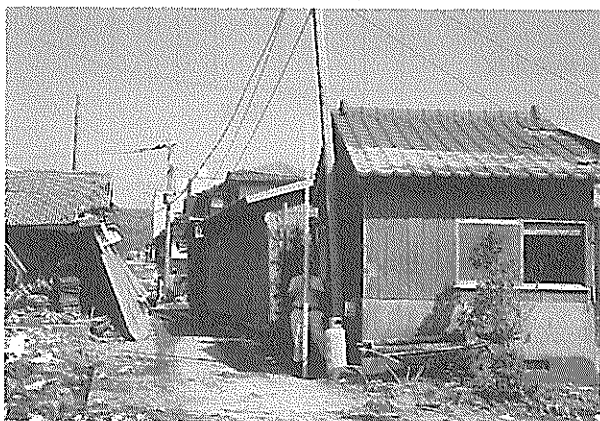


写真-5.11 浸水した家屋(和田船溜と仲西船溜の中間付近の住宅で、屋根に痕跡がある。)

さであるならば、潮位偏差は3.9mに達したことになる。この値は伊勢湾台風が来襲したときに名古屋で観測された潮位偏差3.5mを上回っている。

図-5.19は、数値計算によって推定される松合地区前面の潮位変化である。5時から6時までの1時間で潮位

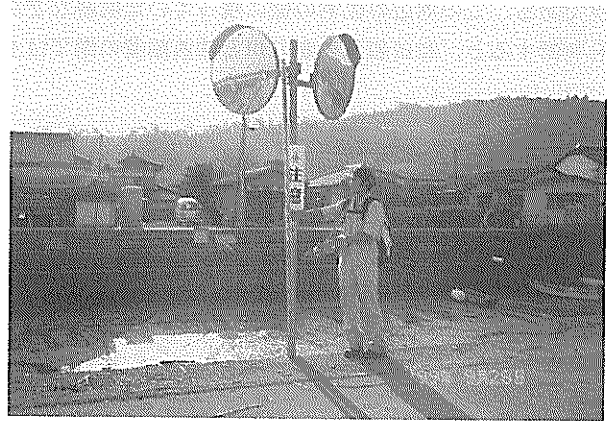


写真-5.12 仲西船溜の護岸上のカーブミラー

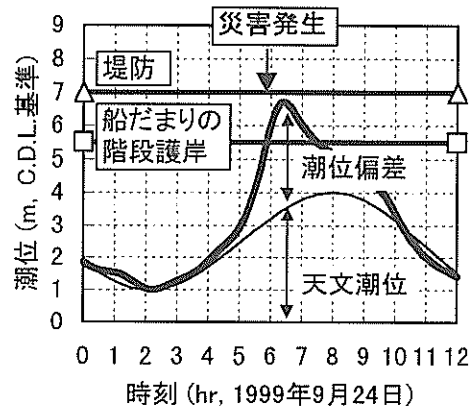


図-5.19 松合地区での推定される潮位の変化



写真-5.13 国道の堤防の陸側(山須船溜のすぐ西側)

が3mも急上昇したことが分かる。また、6時過ぎには、国道の堤防の天端に近い高さまで潮位が上昇したものと推定される。写真-5.13は仲西船溜と山須船溜の間に位置する国道の堤防の陸側であり、法肩の一部が崩れている。ただし、海水が堤防の一部を越流したのか、越波が生じただけなのかについては、定かではない。

なお、松合地区の被災については、滝川(2000)や奥園ら(2000)によっても報告されている。

(4) 鏡町

鏡町は八代海の奥部に位置し、不知火町松合地区のほぼ対岸に位置する。鏡港では海水が堤防を越えて住宅を破壊した。地元の方の証言によれば、台風9119号の時には被害がなく、昭和20年代頃の台風(昭和17年の台風4216号のことであると思われる)では船が堤防の上に乗上げたが、堤防のバラベツが見えなくなるほど水位が上昇して住宅に大きな被害が生じるようなことは、過去50年間に一度もなかったそうである。

6. 周防灘周辺の高潮とその被害

6.1 周防灘周辺の高潮

図-6.1に周防灘の海底地形を示す。八代海や鹿児島湾が南北に長い湾であるのに対し、周防灘は東西に約90kmと長く、南北にも約50kmある。ややS字を描いた形状をしている。西側は関門海峡を介して響灘(日本海)、

東側は伊予灘と宇和海を介して太平洋につながっている。水深は伊予灘側で50mに近いところもあるが、西に行くにしたがって浅くなり、海岸線から10~15km以内の水深は概ね20m未満と浅い。

八代海と同様な方法(但し、傾度風の偏向角については40deg)で周防灘の最大潮位偏差を計算した結果を図-6.2の破線で示す。宇部より東側では検潮記録や現地調査による値とよく一致しているが、宇部より西側では過小な値になっている。荇田で潮位偏差の経時変化を比較すると、図-6.3の細線と○印とが示すように、計算値と観測値の差は9月24日0時頃から次第に広がっている。このような差が生じた原因の一つとして、周防灘における風の推定誤差が考えられる。八代海と同様に風速の低減係数 C_1 、 C_2 を0.7とすると、図-6.4の細線で示すように、風速は過小評価される。周防灘は周りを高い山に囲まれており、湾奥に行くほど幅が狭まっている。台風の風域に比べて海域の規模が小さいため、このような陸上地形が海上風に及ぼす影響を考慮する必要性がある。

そこで、周防灘内の計算格子については、図-6.5に示すように風速の低減係数を経時的に変化させる方法を試みた。低減係数を一定値ではなく経時的に変化させたのは、台風の位置によって周防灘に吹く風の向きが変化し、それによって陸上地形が海上風に及ぼす影響も変化するためである。このような風の補正によって、荇田では図-6.4の太線に示すような風速となる(9月24日8時以降

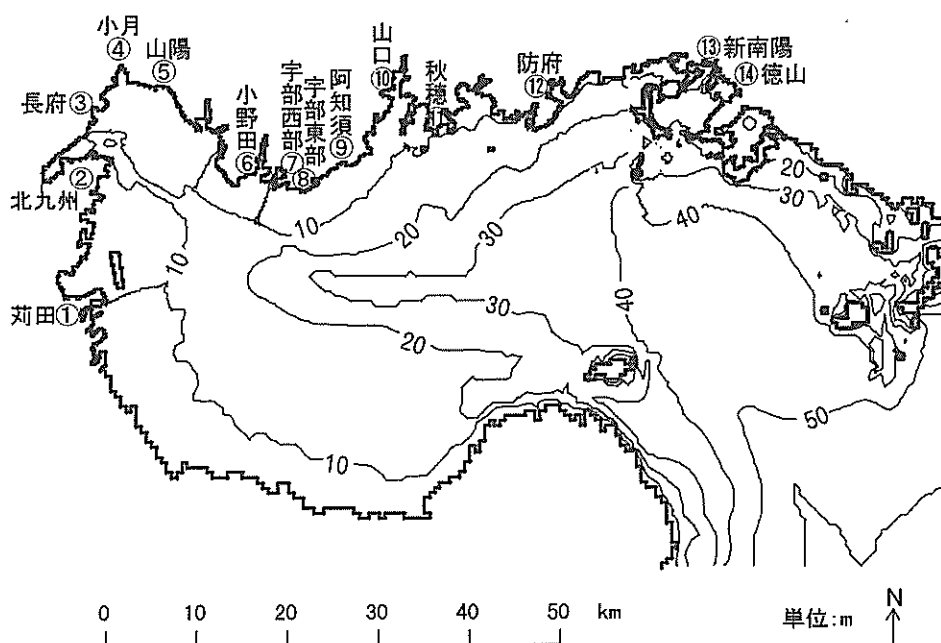


図-6.1 周防灘周辺の海底地形

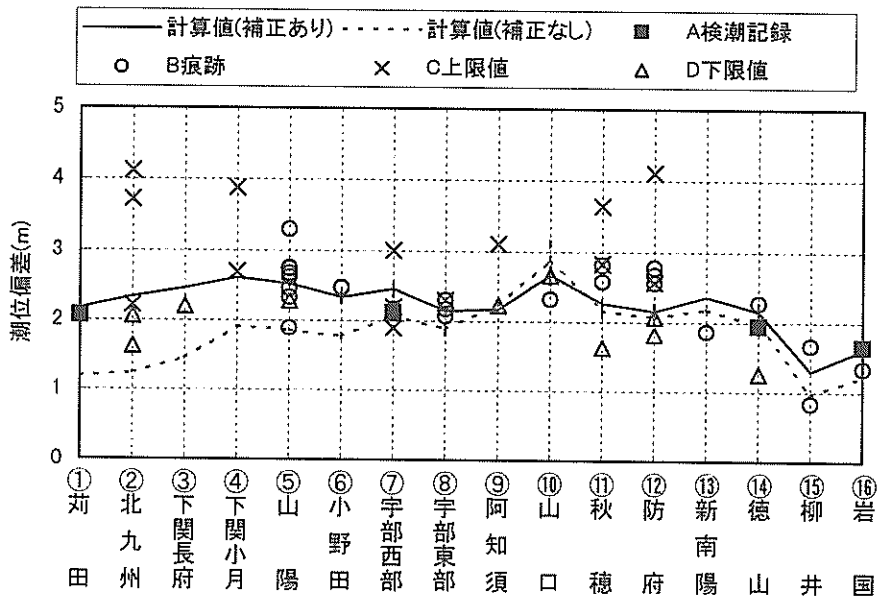


図-6.2 検潮記録および現地調査との比較

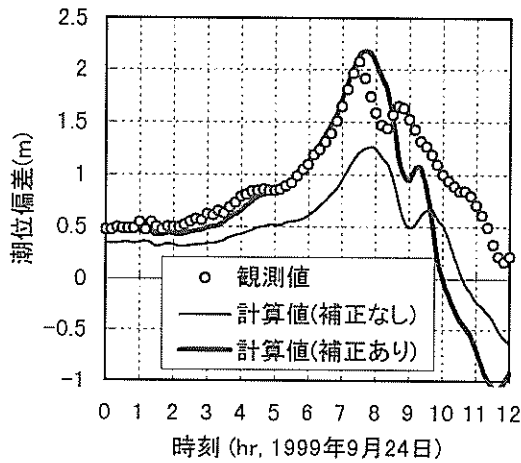


図-6.3 潮位偏差の経時変化(苅田)

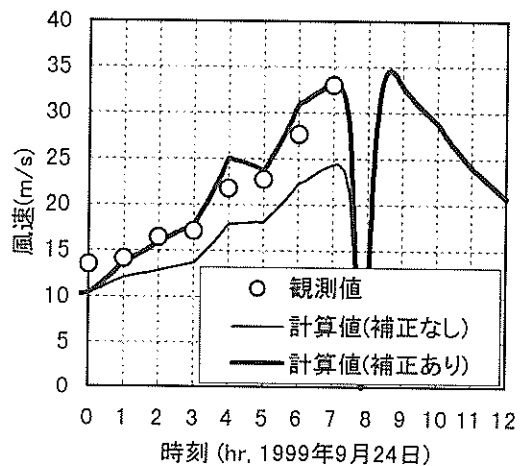


図-6.4 風速の経時変化(苅田)

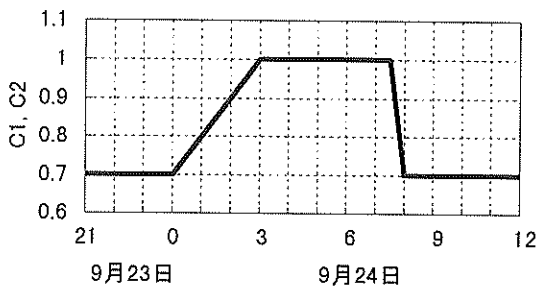


図-6.5 風速の低減係数

は、風の補正をしていないため、補正なしの細い実線と補正ありの太い実線とが重なっている。また、風向についても同様に補正した。その結果、図-6.3の太い実線で示すような、観測値と概ね一致する潮位偏差の経時変化が得られた。

このような風の補正をほどこして計算した、代表地点における潮位偏差の経時変化を図-6.6に示す。少なくとも潮位偏差がピークとなるまでの変化は、数値計算によってよく再現されている。ピーク後の潮位偏差について

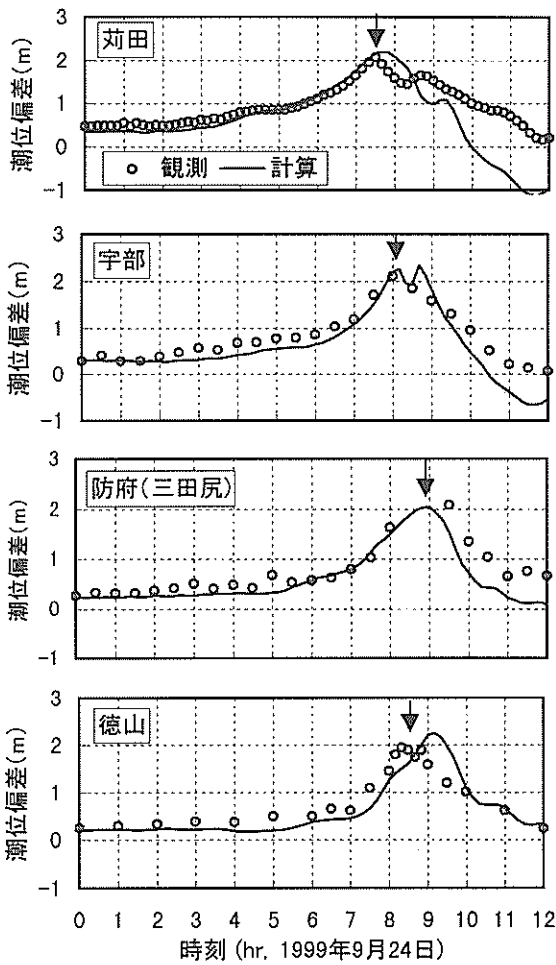


図-6.6 潮位偏差の経時変化(周防灘周辺)

は、数値計算による値が検潮記録によるものより急に小さくなっており、その原因の一つとしては台風通過後の風速をやや過大に評価していることが考えられる。

代表的な時刻における潮位偏差の平面分布を図-6.7に示す。周防灘では、台風 9918 号が熊本県南西部の牛深の周辺を通過した 9 月 24 日 4 時の時点で、既に東寄りの風によって西岸に海水が吹き寄せられており、図-6.7 (a)に示すように、潮位偏差は 0.5m 以上となっていた。台風が有明海南部を横切って大牟田周辺に再上陸した 6 時頃になると、図-6.6に示すように、周防灘の各地点でも顕著に潮位偏差が増加し始めた。そして、7 時半頃には、図-6.7 (e)に示すように、苅田や北九州の周辺で潮位偏差は 2m 程度に達した。台風が 8 時前後に周防灘西部を横切ると、周防灘で潮位偏差が最大の海域は山口県側に移り、図-6.7 (g)に示すように、山陽の周辺では 2.5m 程度の潮位偏差となった。その後、台風の進行とともに潮位偏差の大きい場所は東へと移動し、9 時頃にな

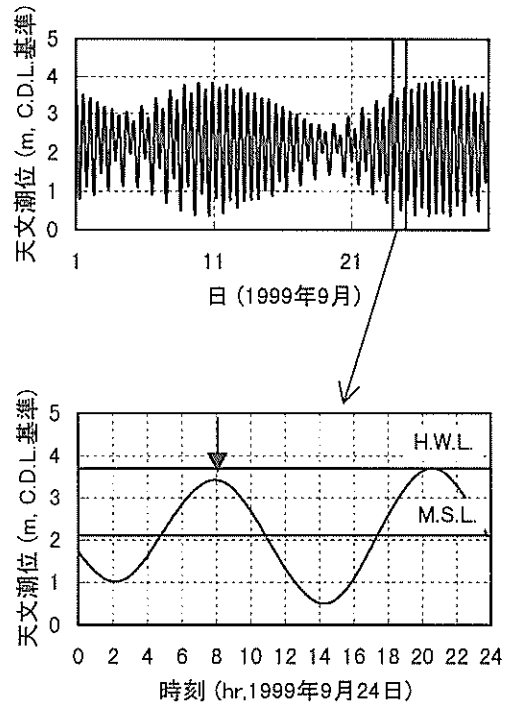
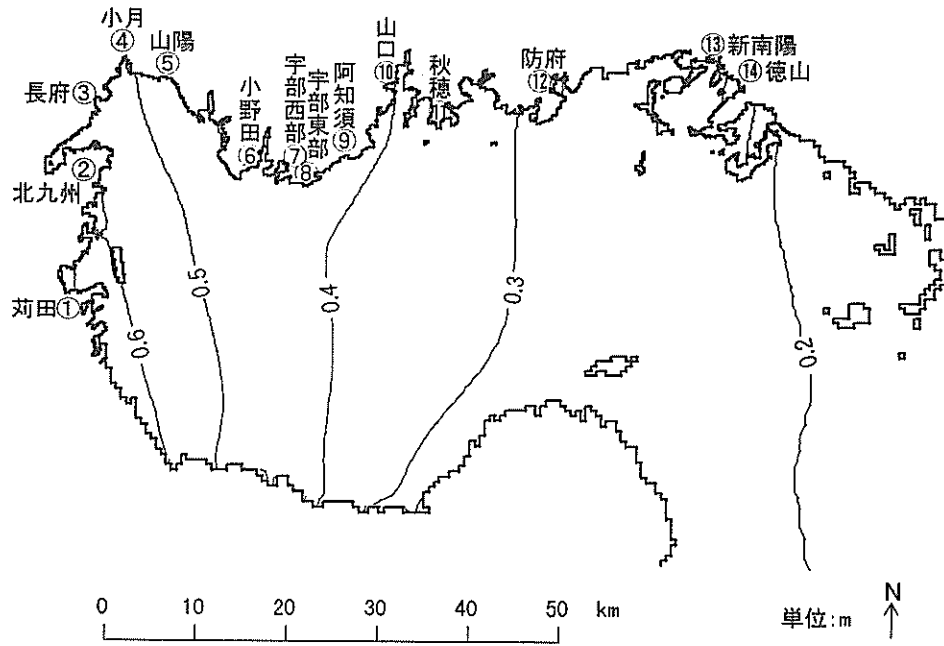


図-6.8 天文潮位の経時変化(宇部)

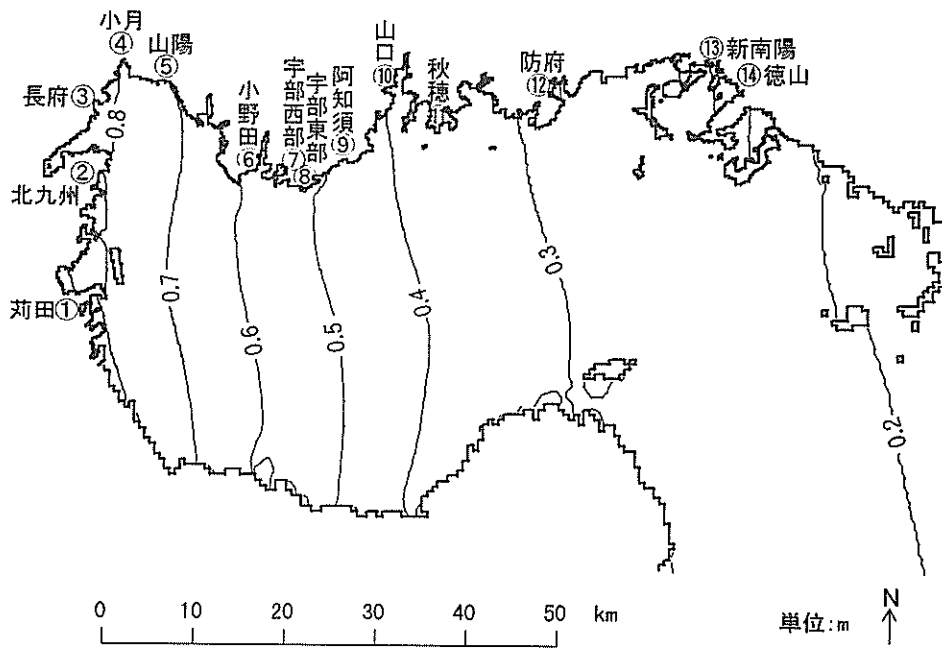
ると、図-6.7 (h)に示すように、山口から防府、徳山にかけての海域の潮位偏差が最大となった。なお、当日の周防灘では、図-6.8に示すように、満潮が 8 時頃であり、苅田や宇部など西部では潮位偏差のピークとほぼ重なった。

図-6.9は最大潮位偏差の分布を示す。最大潮位偏差は苅田から宇部にかけての北西部で大きく、最も大きい山陽周辺では 2.5m を上回った。周防灘の北側海岸には、山口周辺などV字形に北側に切り込むような小湾がいくつもあり、これらの湾内でも局所的に大きな潮位偏差が生じた。

図-6.10は周防灘の周辺海域の最大潮位偏差の分布を示す。宇和海で 0.5 ~ 1m、伊予灘で 1 ~ 1.5m、安芸灘で 1.5 ~ 2m の潮位偏差が生じた。

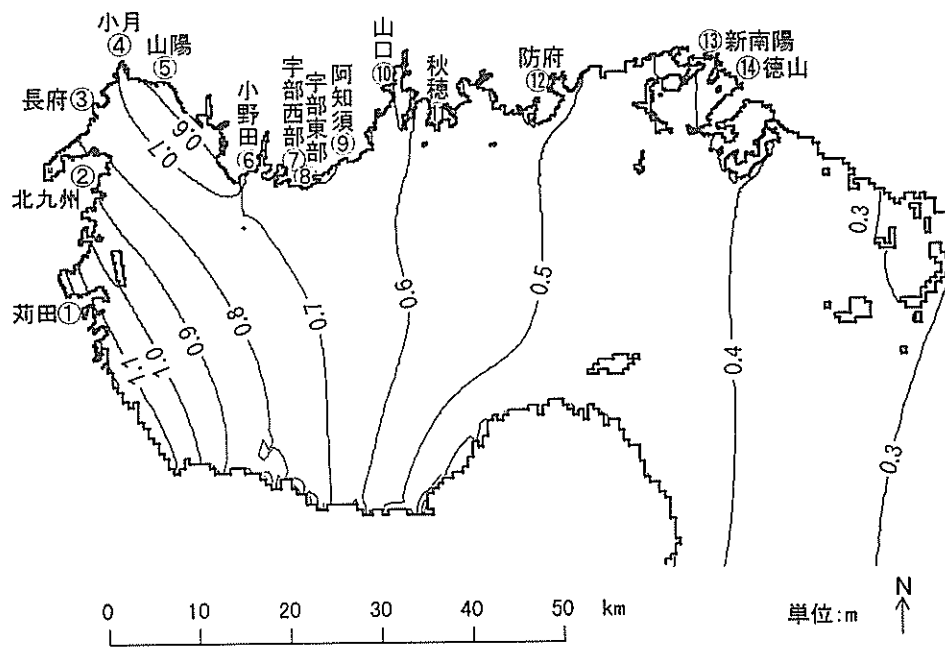


(a) 1999年9月24日4時

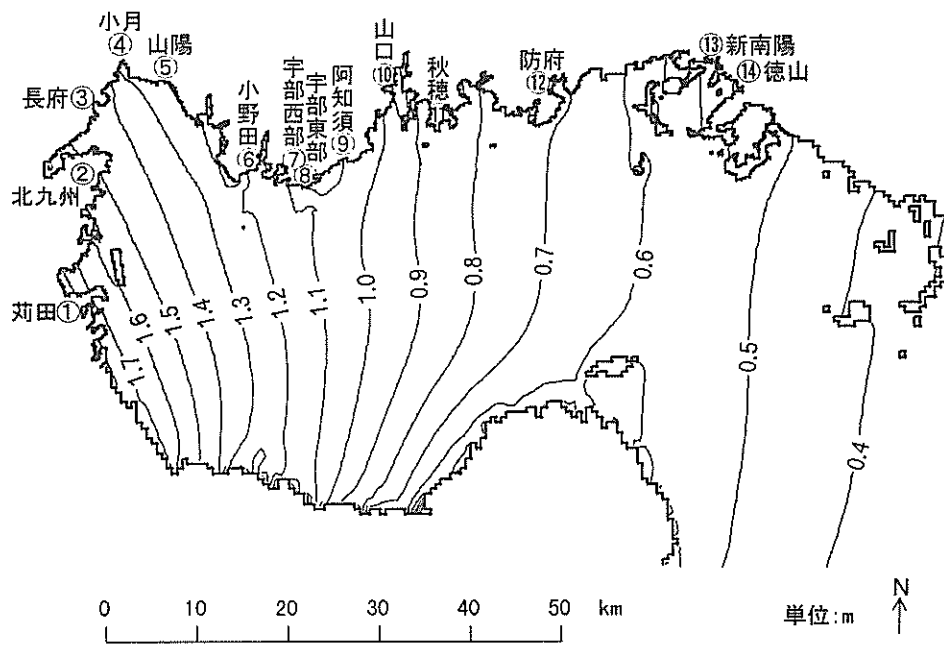


(b) 1999年9月24日5時

図-6.7 潮位偏差の平面分布(周防灘)

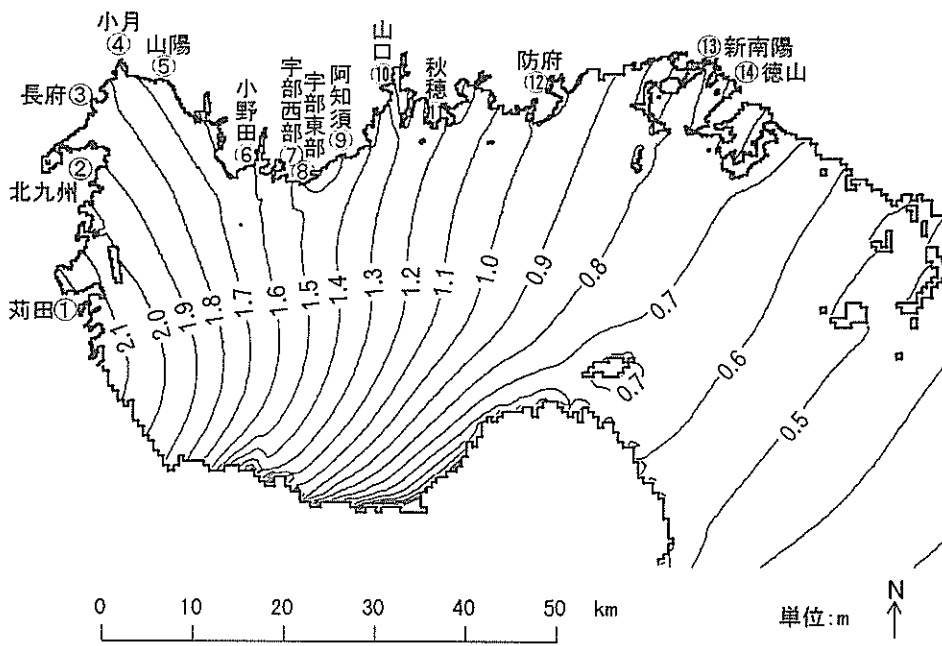


(c) 1999年9月24日6時

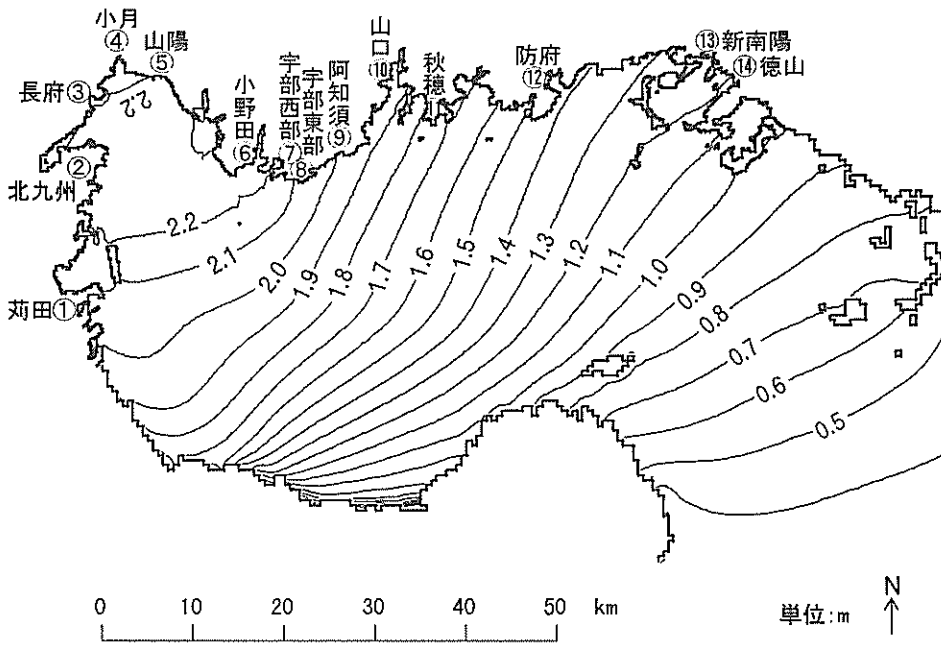


(d) 1999年9月24日7時

図-6.7 潮位偏差の平面分布(周防灘)

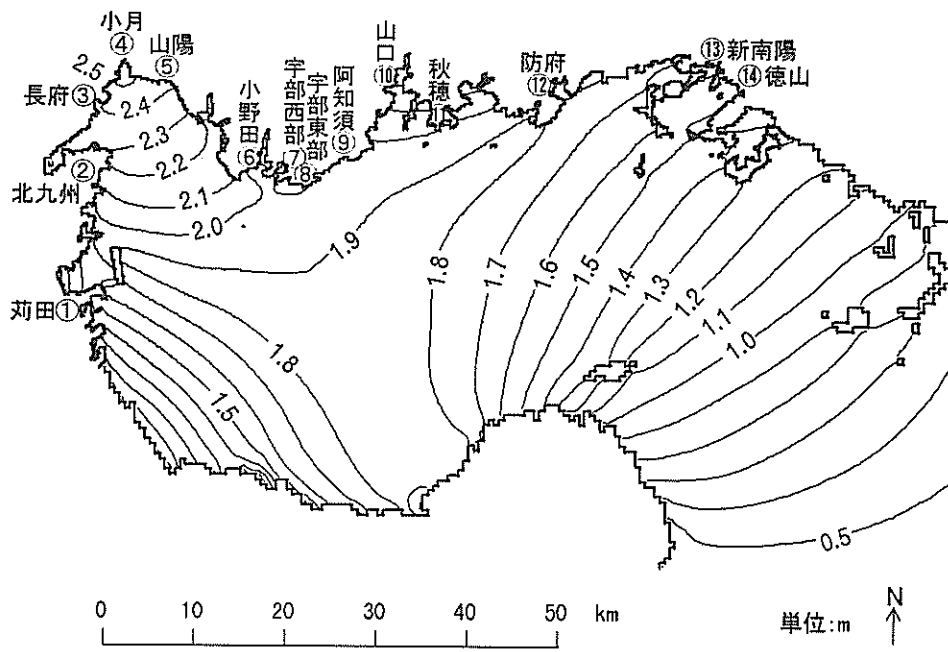


(e) 1999年9月24日7時30分

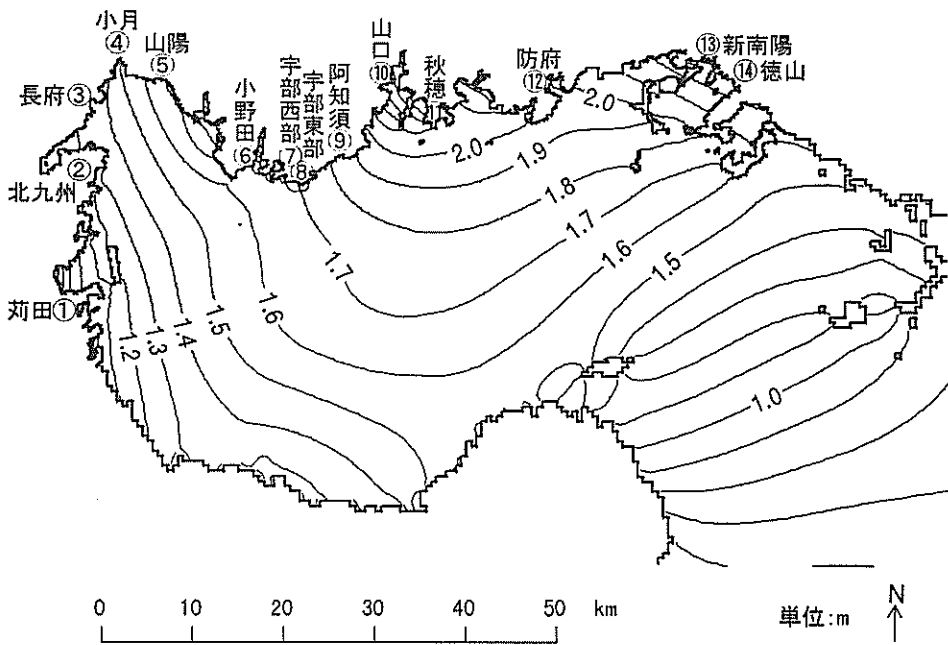


(f) 1999年9月24日8時

図-6.7 潮位偏差の平面分布(周防灘)



(g) 1999年9月24日8時30分



(h) 1999年9月24日9時

図-6.7 潮位偏差の平面分布(周防灘)

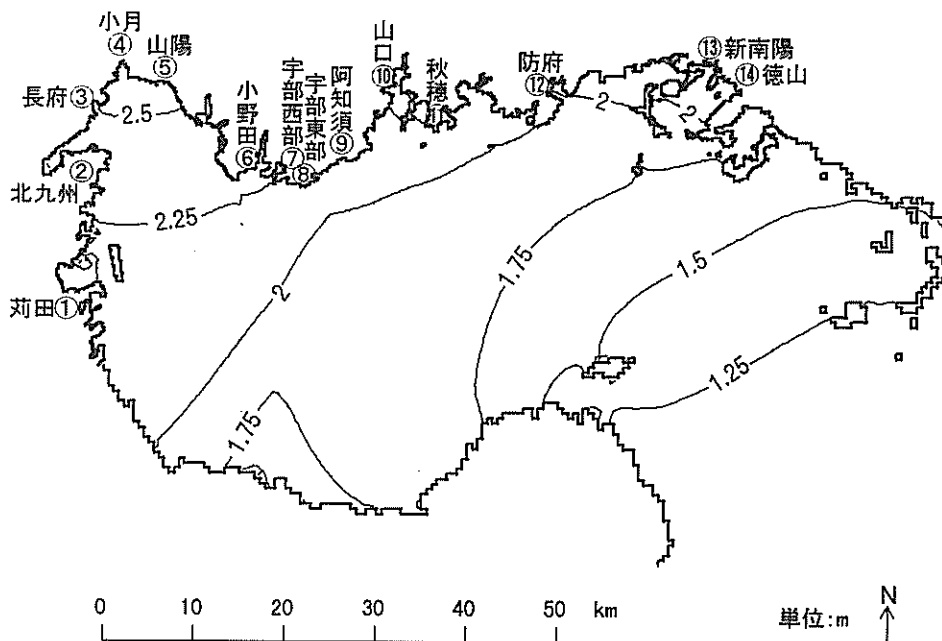


図-6.9 最大潮位偏差の分布(周防灘)

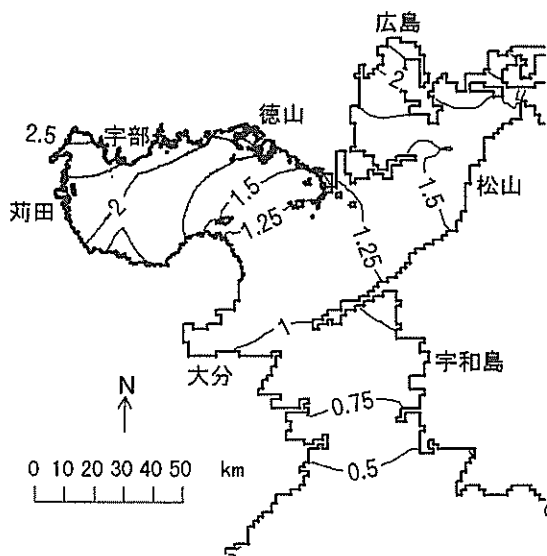


図-6.10 最大潮位偏差の分布(瀬戸内海西部)

6.2 周防灘沿岸での被害

周防灘沿岸では、1999年10月13日～14日に山口県秋穂町から福岡県苅田町までの概況を現地調査した後、同年11月1日～2日に改めて山陽町埴生地区と防府市三田尻港周辺などを詳細に現地調査した。また、関係官署から被害に関する資料を収集した。

(1) 苅田町～北九州市

苅田の検潮記録によると、台風が通過する少し前の7時30分頃に潮位は最高となり、潮位偏差もこの時に最大で約2.1mに達した。天文潮の満潮は8時頃であり、潮位偏差のピークは満潮とほぼ重なった。有義波高も6時の時点で3.4mを記録し、その後は欠測したために正確な値は不明であるが、ピーク時には4mに近い有義波高となっていたものと考えられる。この高潮と高波によって、苅田町から北九州市にかけての港湾や海岸では、護岸の上部工が倒壊したり、住宅地が浸水する被害が生じた。

例えば、写真-6.1は新門司港の沖合で建設中の護岸であり、高潮と高波によって上部工が被災した。また、写真-6.2は新門司港の護岸であるが、上部工の被災を免れた場所であっても、激しい越波によって道路横のフェンスが倒されたり周りの地盤が洗掘されたりした。

北九州市の白野江地区でも、高潮によって潮位が異常に高くなった上に高波浪が来襲して住宅が損傷した。図-6.11はこの地区の状況を模式的に表したものであり、図中の潮位偏差2.0mは数値計算による推算値である。自宅の二階から海を見ていた人によると、海面が最も高くなったのは7時半から8時にかけてであり、前方にある防波堤は見えなくなったそうである。また、波によって護岸のフェンスや家の前にある鉄筋入りのブロック塀が

倒れ、家の一階部分も窓が破れて中が水浸しとなり、さらに船だまりにあったボートが家と家の間に打ち上げられたそうである。

さて、白野江地区で潮位が最高となったとされる時刻は、苅田の検潮記録による7時30分頃とも一致している。また、この地区の前方には波浪を遮蔽するような島はなく、苅田と同じような波浪条件であったと考えられる。したがって、この住宅地は断続的な越波によって浸水していたものと推定される。

また、青浜地区でも護岸のパラペットが倒壊し、家屋の一階の壁の下の方が破れた。図-6.12に示すように、潮位は道路と大差の無い高さまで上がり、護岸の法肩から石垣の下まではリーフの上を波が碎波しつつ進行するような状況になっていたと考えられる。

(2)下関市～小野田市

山口県西部の下関や小野田には検潮所があるが、何れもピーク付近が欠測した。そこで、この周辺の住宅地で最も被害が甚だしかった山陽町埴生地区を現地調査した。



写真-6.1 新門司港沖合の埋立護岸 (撮影時の潮位は C.D.L.+2.3m である。)

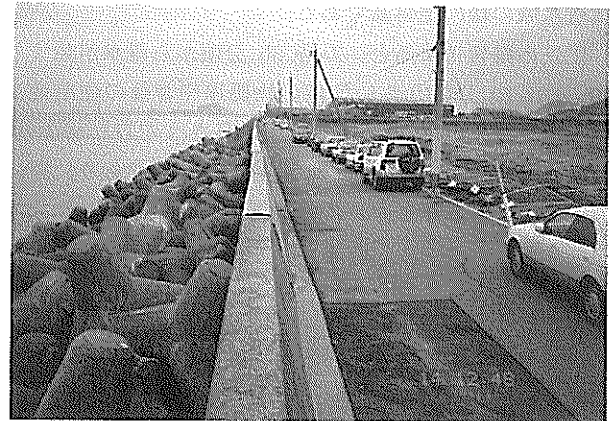


写真-6.2 新門司港の護岸

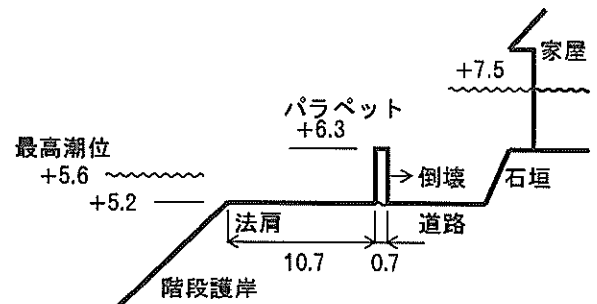


図-6.12 青浜地区の護岸

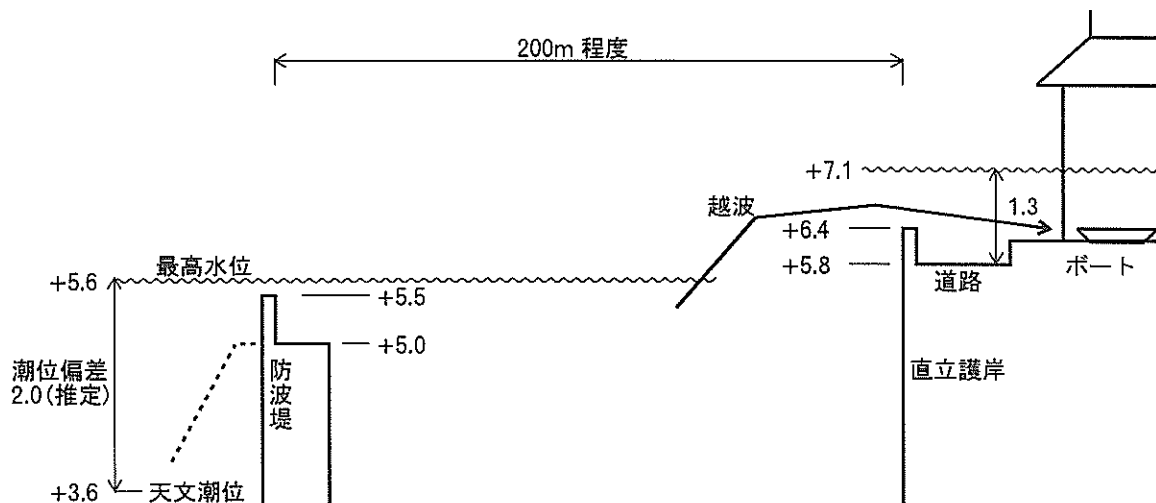


図-6.11 白野江地区の被災状況

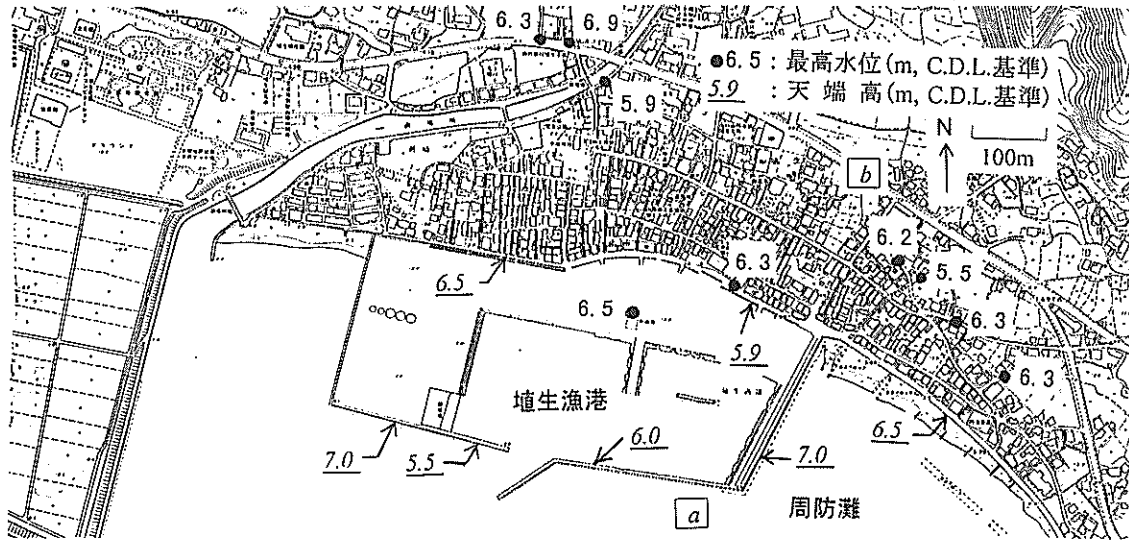
埴生地区には、図-6.13に示すように漁港があり、防波堤(天端高 C.D.L.+5.5 ~ 7.0m)と胸壁(C.D.L.+5.9 ~ 6.3 m)の背後に住宅地が広がっている。図に●印で示した最高水位のうち、漁港の2カ所は地盤高と浸水高の合計から求めた最高水位であり、住宅地内にある他の7カ所は浸水域の縁の地盤高である。

住民の証言によると、7時30分頃から浸水が始まり、10分か20分のうちに漁港の物揚場や背後の住宅地が1.5m程度浸水した。この浸水面の高さは C.D.L.+6.3m(7時36分に C.D.L.+6.5m という証言もある)であり、潮位偏差で 2.7m に相当する。休漁期で漁船の一部は陸揚げ

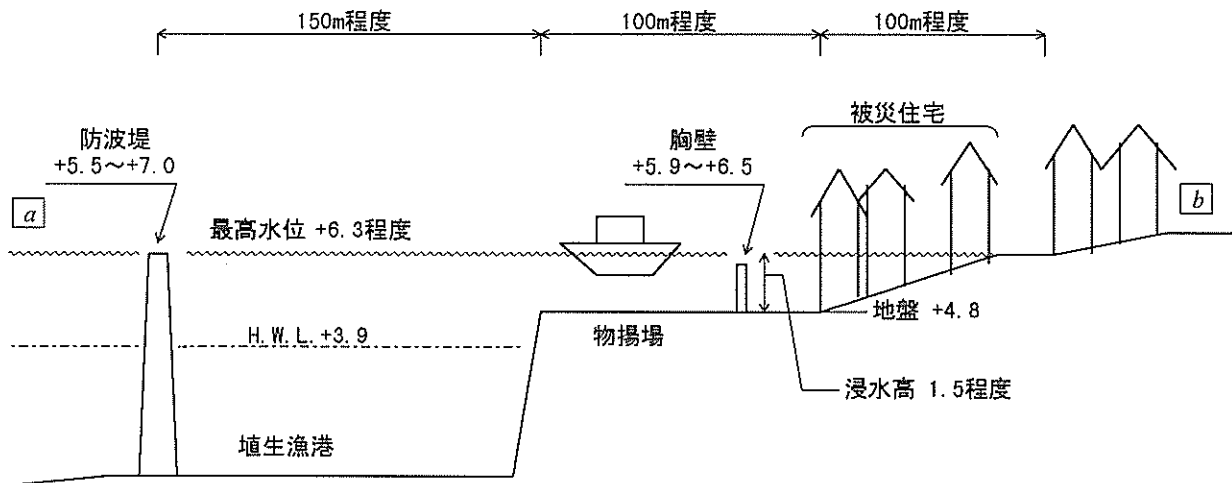
されていたが、その一部が胸壁を乗り越えて背後の家屋を直撃するという被害も出た。その頃、台風の目に入ったために風は弱まったが、波浪は依然として高く、防波堤の天端(C.D.L.+6.0mのもの)は水中に没したように見えなくなった。海水は8時頃には引き始めた。

漁港の東側で、漁港の防波堤に遮蔽されていない海岸では、海側から2~3列以内にある多くの家屋が損傷した。これらの家屋の後方は地盤が高くなっているため、浸水の被害は出ていない。

また、漁港の西側にある前場川の河口付近では、越波によって家屋が破壊され、新前川橋の橋脚部分も大きく



(a) 平面図



(b) 断面図

図-6.13 山陽町埴生地区の地形と浸水の状況



写真-6.3 殖生漁港背後の胸壁



写真-6.4 尻川湾の海岸(秋穂町)

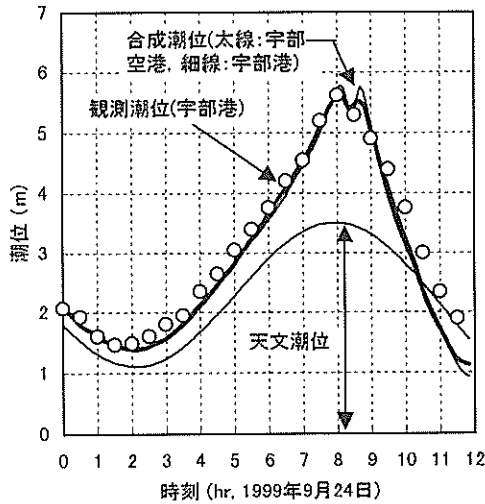


図-6.14 宇部での潮位変化

洗掘された。波は前場川を遡上し、兩岸を浸水させた。
 なお、殖生地区は台風 9119 号のときにも浸水しており、そのときの潮位は C.D.L.+5.5m 程度であったそうである。

(3) 宇部市～防府市

図-6.14は、宇部港の検潮記録、宇部港の合成潮位(宇部港の天文潮位+宇部港の潮位偏差の推算値)、宇部空港の合成潮位(宇部港の天文潮位+宇部空港の潮位偏差の推算値)を示したものである。宇部港の潮位偏差と宇部空港の潮位偏差との差は小さく、宇部港の潮位をほぼ宇部空港での潮位と考えて支障はない。山口宇部空港では、周防灘に直接面した護岸の一部が破壊されるとともに、滑走路が冠水し、空港ビルの一階も浸水した。しかしながら、護岸の上部工は C.D.L.+8.0m、背後の地盤も

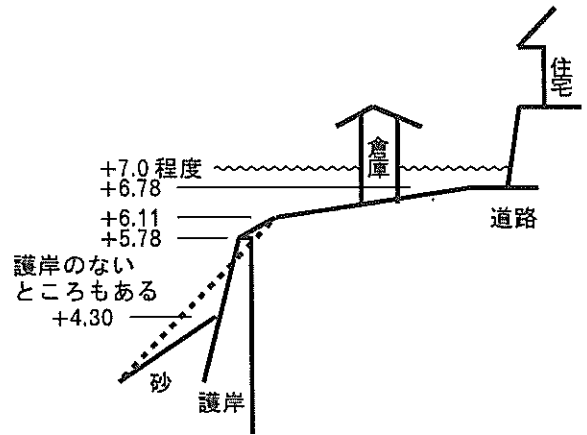


図-6.15 尻川湾沿岸での浸水の状況

C.D.L.+7.0m 程度の高さがあり、護岸を超える潮位が発生したとは考えにくい。断続的な越波によって浸水したものと考えられる。

阿知須町、山口市、秋穂町でも、多くの港湾・海岸施設が高潮と高波によって被災した。例えば、写真-6.4は秋穂町の尻川湾にある護岸である。この護岸の近くで自宅の二階から海を見守っていた人の話によると、海面は8時半頃に最も高くなり、道路 (C.D.L.+6.8m) まで波が打ち上がって浸水したそうである。このときの状況を図-6.15に示す。周防灘台風の時よりも高いところまで浸水したそうである。

防府市にある三田尻港の周辺では、8 時前の満潮時刻を少し過ぎてから、10 分か 20 分くらいの短い時間で急に潮が押し寄せ、岸壁や住宅地が浸水したそうである。新田地区の港ビルの入口の階段で水位変化を注意深く観察していた人によると、水位は3段目まで上昇した。このビルは岸壁のすぐ横にあり、入口は岸壁の反対側にあ

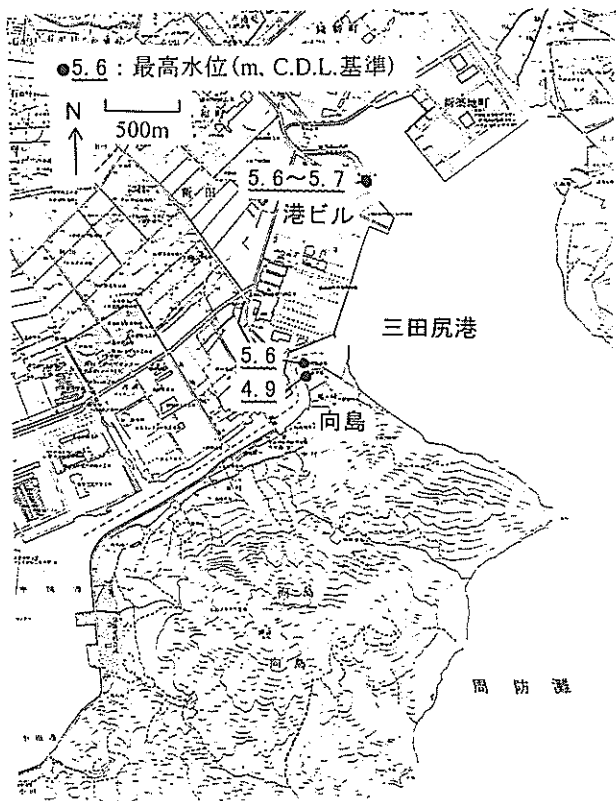


図-6.16 三田尻港周辺(防府市)の調査結果

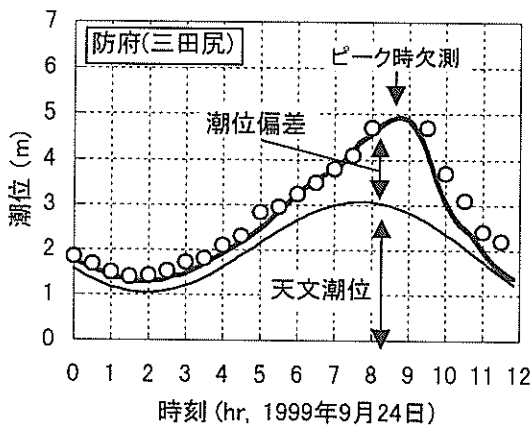


図-6.17 三田尻港(防府市)の検潮記録

るため、波による水面の乱れは小さい。このビルの一階の部屋のドアや壁にもはっきりとした痕跡が残っており、これらの高さは C.D.L.+5.6 ~ 5.7、潮位偏差で 2.6 ~ 2.7m に相当する。向島地区でも住宅地や倉庫などが浸水しており、その痕跡値を図-6.16に示す。三田尻港の港ビルの近くには検潮所があるが、当時の有効測定範囲

の上限は 4.7m であったため、潮位のピーク付近は欠測した。そこで、数値計算による潮位変化を検潮記録と比較すると、図-6.17に示すように、両者はよく一致しているように見える。ところが、数値計算から推定される最高潮位は C.D.L.+5.0m であり、検潮所のすぐ近くで得られた痕跡値より 0.6~0.7m 低い。その原因は定かでないが、実際の潮位の変化は数値計算によるものよりもピークが鋭かった可能性もある。

なお、山陽町から防府市までの護岸の被災状況については、既に山本ら(2000)の報告もある。

7. 鹿児島湾周辺の高潮

図-7.1に鹿児島湾の海底地形を示す。九州周辺にある湾の海底地形でも触れたように、鹿児島湾は南北に長く、その水深は非常に深い。台風 9918 号は、鹿児島湾の西方約 100km のところを 30km/h 程度の速さで北東に向かって通過した。

これに伴って生じた枕崎(鹿児島湾の西方、図-7.1で示した範囲の左方)および鹿児島島の潮位偏差の経時変化を図-7.2に示す。高潮の計算において、風速の低減係数と傾度風の偏向角は、八代海の場合と同じ値、すなわちこれまで一般的に使用されてきた範囲の値を用いた。図中に矢印で示すように、鹿児島では潮位偏差が3時から4時かけてピークとなった。この頃の鹿児島における天文潮位は図-7.3に示すように平均海面 M.S.L.程度であり、潮位偏差を合わせた潮位も朔望平均満潮位 H.W.L.程度であった。そのため、高潮そのものによる被害は生じなかった。

なお、数値計算による潮位偏差は、ピーク後に、検潮記録よりも顕著に潮位偏差が減少してマイナスにも転じている。ここで用いた台風モデルでは、風速の低減係数 C_1 、 C_2 を風向に関係なく一律に与えており、台風通過後に風が陸から海に向かって吹くような条件では風速を過大に評価している可能性がある。

図-7.4は代表的な時刻における鹿児島湾周辺の潮位偏差の分布を示したものである。0時や1時には湾の北東部で潮位偏差が大きく、3時や4時になると台風の接近による風向の変化にしたがって湾の北部で潮位偏差が大きくなった。

図-7.5は志布志(鹿児島湾の東方に位置する)も含めた3点について最大潮位偏差を示したものである。検潮記録とよく一致した値が得られている。鹿児島湾内の最大潮位偏差は、図-7.6に示すように、湾口部で 0.5m 程度、湾奥部では 1m 程度に達したものと考えられる。

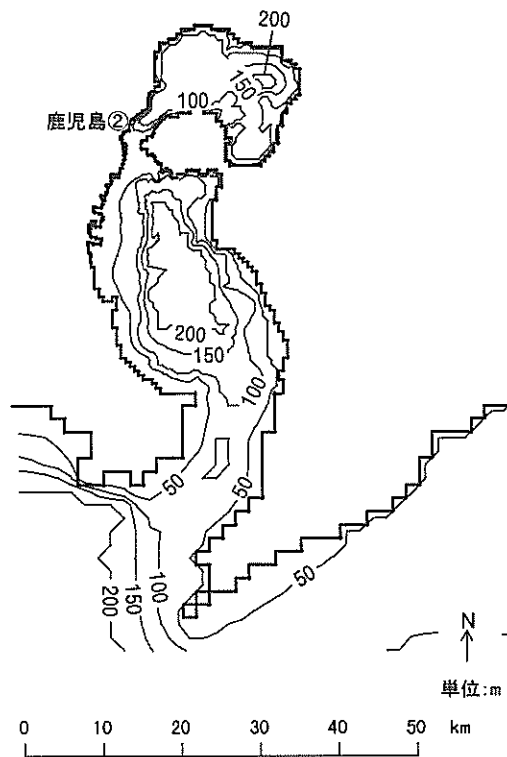


図-7.1 鹿児島湾の海底地形

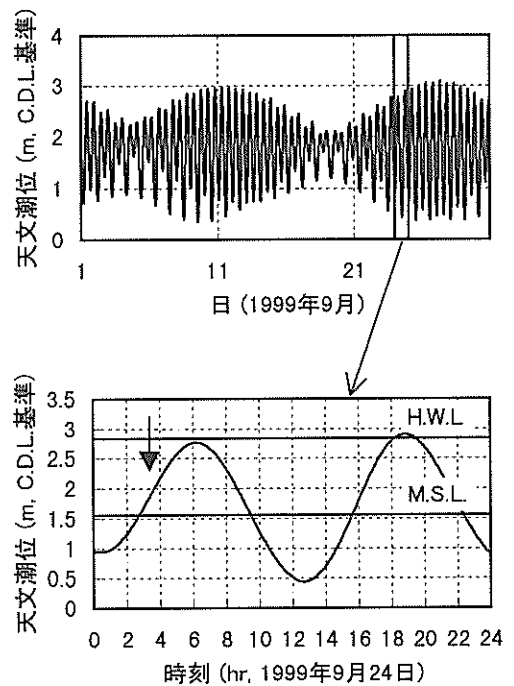


図-7.3 天文潮位の変化(鹿児島湾)

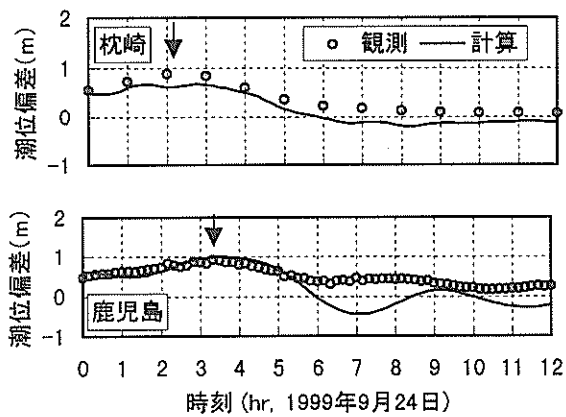
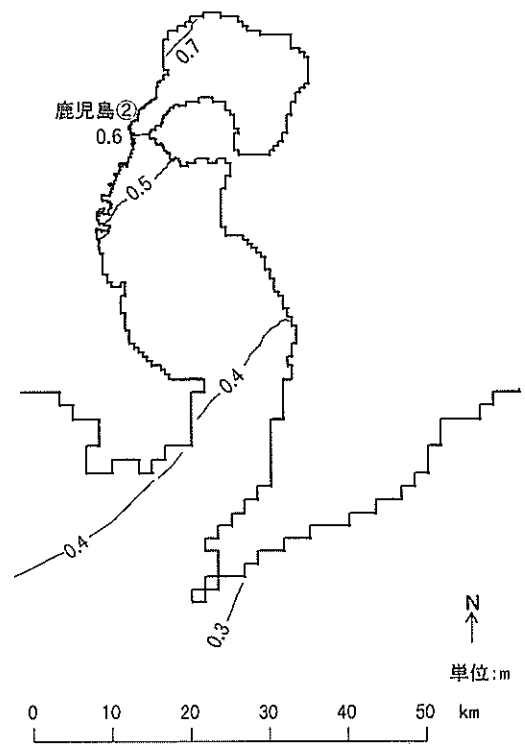
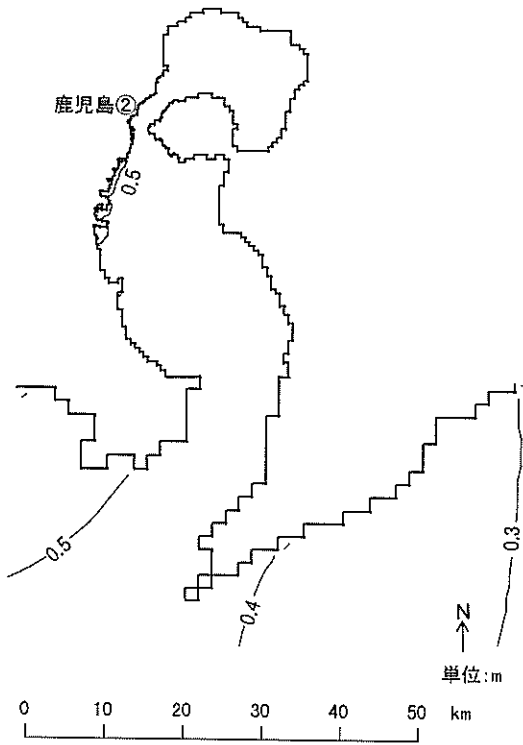


図-7.2 潮位偏差の経時変化(鹿児島湾周辺)

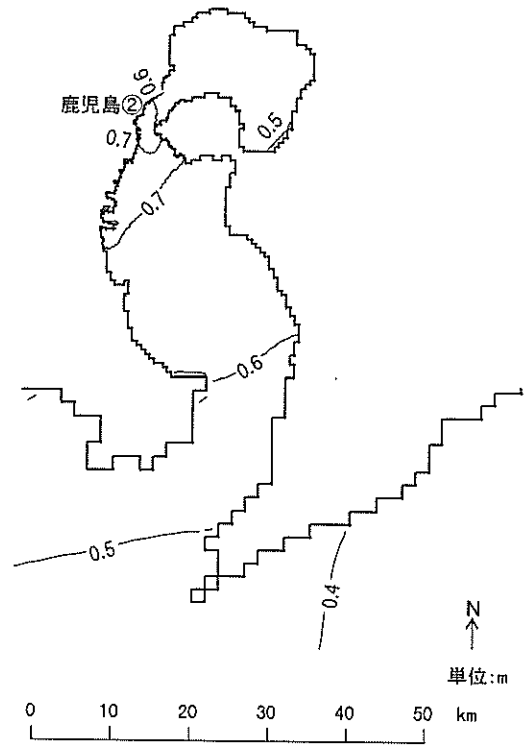


(a) 1999年9月24日0時

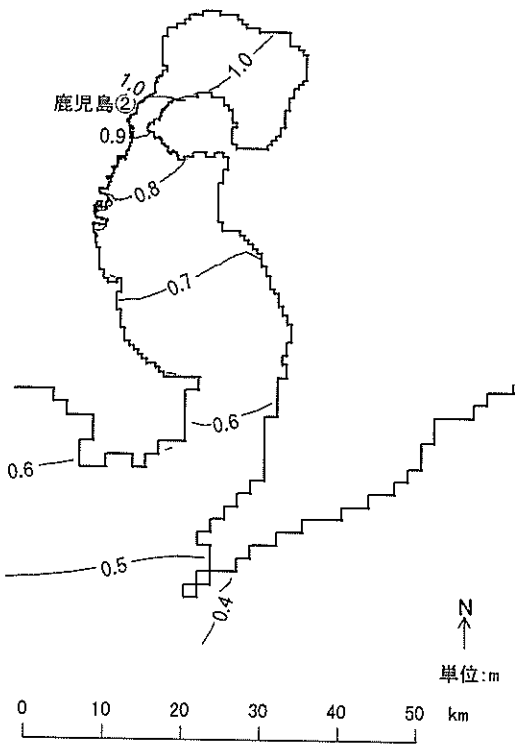
図-7.4 潮位偏差の平面分布(鹿児島湾)



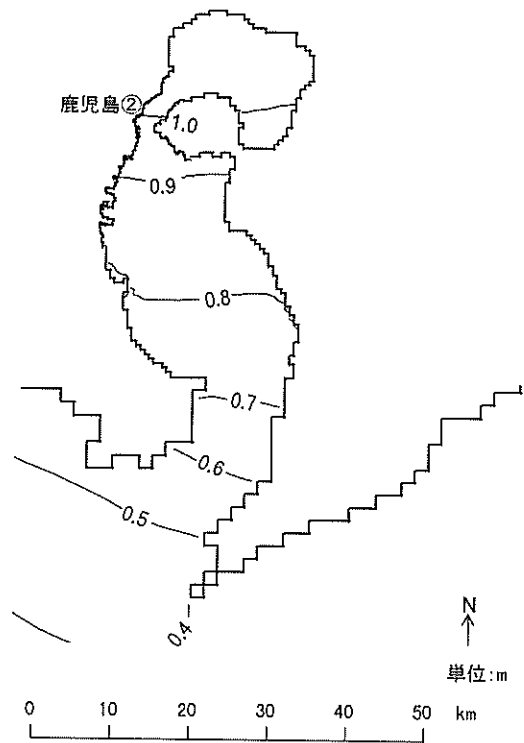
(b) 1999年9月24日1時



(c) 1999年9月24日2時

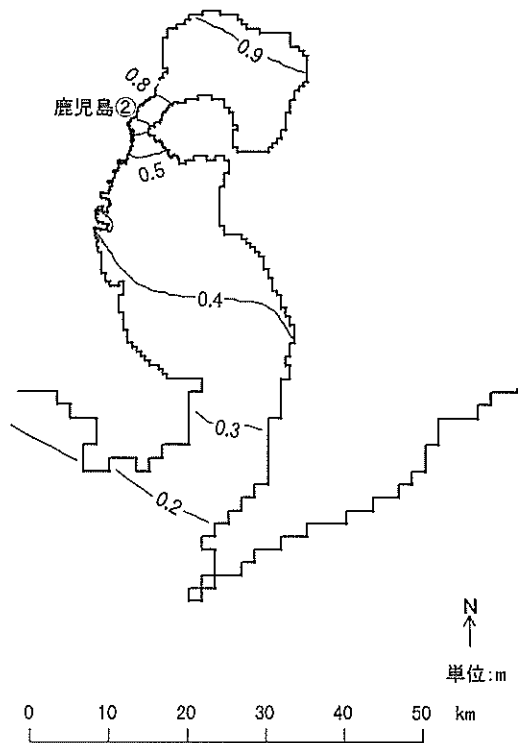


(d) 1999年9月24日3時



(e) 1999年9月24日4時

図-7.4 潮位偏差の平面分布(鹿児島湾)



(f) 1999年9月24日5時
 図-7.4 潮位偏差の平面分布(鹿児島湾)

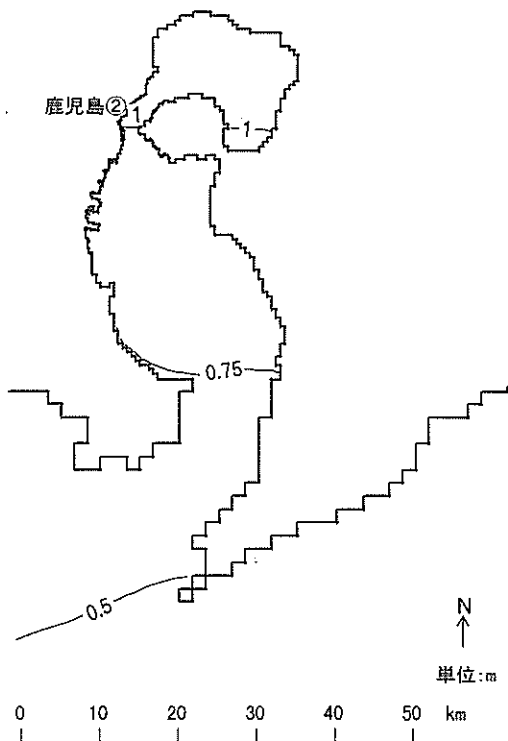


図-7.6 最大潮位偏差の分布(鹿児島湾周辺)

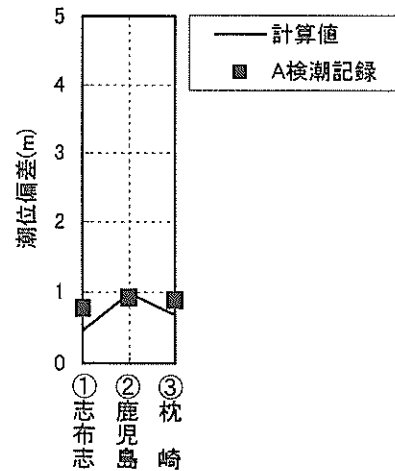


図-7.5 最大潮位偏差の比較(鹿児島湾周辺)

8. 大きな災害となった原因

5. 八代海周辺の高潮とその被害および6. 周防灘周辺の高潮とその被害において述べたように、台風 9918 号は八代海や周防灘の沿岸に、非常に大きな高潮災害をもたらした。ここで、その原因について整理しておきたい。

①湾の地形

八代海は、図-5.1で示したように、南北方向に細長い湾である。台風が八代海の西側を通過するとき、八代海では強い南寄りの風によって海水が湾奥部(北部)に吹き寄せられる。特に八代より奥では、水深が非常に浅いため、潮位偏差は非常に大きくなる。一方、周防灘は、図-6.1で示したように、多くの台風の進路と直角をなす東西方向に長い。台風が周防灘に向かって北上しつつあるとき、周防灘では強い東寄りの風によって海水が湾奥部(西部)に吹き寄せられる。つまり、八代海も周防灘も、顕著な高潮が発生しやすい地形をしていた。

②台風の勢力

表-2.1で示したように、台風 9918 号の中心気圧は、過去およそ 60 年間に九州周辺に来襲した台風の中では上位にランクされる。しかしながら、台風 5915 号(伊勢湾台風)クラスの強さはなく、台風 9119 号(りんご台風)よりもやや弱かった。50 年に一度というよりは 10 年に一度くらいの強さの台風である。また、台風によって発生する風には、気圧差によって生じる成分と、台風の移動によって生じ

る成分とがあり、後者は台風の進行速度に比例する。台風 9918 号の進行速度は、表-2.1に掲げた台風の中では平均的なものであり、伊勢湾台風と比べても遅かった。

③台風のコース

図-4.1で示したように、台風 9918 号は八代海の左側を通過した。図-5.13(a)で示したように、八代海に位置する不知火に対してはほぼ最悪のコースであったと考えられる。なお、台風 9119 号は、台風 9918 号よりも八代海から離れたところを通過したが、台風のパ径が大きかったため、これもまた八代海にとって最悪に近いコースであったと考えられる。

④潮位偏差

表-2.3で示したように、台風 9918 号による潮位偏差は台風 9119 号と同程度であったと考えられる。なお、「台風の進路の右側が危険」ということが一般に知られているが、台風 9918 号が周防灘を横切った時には、図-6.9で示したように、進路の左側にあたる苅田から山陽でも顕著な潮位偏差が生じた。

⑤天文潮位

図-5.8および図-6.8で示したように、台風 9918 号による潮位偏差のピークは天文潮の満潮と重なり、合成潮位は非常に高くなった。表-2.2には朔望時の天文潮差(朔望平均満潮位 H.W.L.と朔望平均干潮位 L.W.L.の差)も示してある。八代海や周防灘では朔望時の天文潮差が約 4m もあり、高潮の発生が災害に結びつくかどうかは、そのときの天文潮位にかかっている。例えば、台風 5915 号のときに名古屋で生じた 3.45m の潮位偏差が八代で生じたとしても、それが大潮の干潮と重なって生じたのであれば、合成した潮位は朔望平均満潮位より低いことになる。高波による波力で港湾・海岸構造物が破壊したり、越波によって背後地が浸水するかも知れないが、高潮そのものによる災害は生じない。図-8.1は台風来襲時期における天文潮位の出現確率分布を示し、台風 9918 号による潮位偏差がピークとなった時の天文潮位は、八代で 20%以下、宇部では 10%以下の高い潮位であった。一方、台風 9119 号による潮位偏差は天文潮位が低いときにピークとなった。また、図には示していないが、台風 4216 号(周防灘台風)は周防灘に満潮と重なる時間帯に来襲した。なお、全国の天文潮位の出現確率分布の特徴については、河合ら(1997)がまとめている。

また、港湾・海岸施設やその背後地の物的な損害にはあまり関係ないが、人的な被害という点では以下の原因も

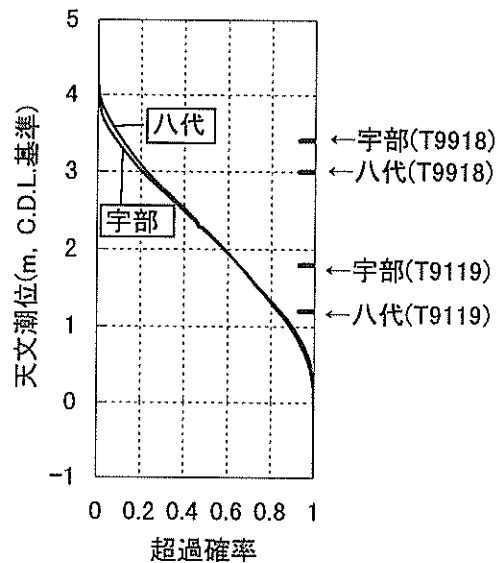


図-8.1 天文潮位の出現確率分布

表-8.1 浸水地区の潮位や地盤高の比較

| | 龍ヶ岳町 小屋河内 地区 | 不知火町 松合地区 | 山陽町 埴生地区 |
|---------------|--------------------|--------------|-------------|
| 浸水開始時刻 | 5:00 頃 | 5:50 頃 | 7:30 頃 |
| 天文潮位 (m) | +2.2 | +3.1 | +3.5 |
| 潮位偏差 (m) | 0.9 | <3.9 | 2.5 ~ 3.0 |
| 合成潮位 (m) | 3.1 | <7.0 | 6.0 ~ 6.5 |
| 防波堤の天端高 (m) | なし | 5.0 ~ 7.0 | 5.5 ~ 7.0 |
| 護岸・胸壁の天端高 (m) | 6.0 | 5.5 | 5.9 ~ 6.5 |
| 背後地の地盤高 (m) | >5.0 | >3.2 | >4.8 |
| 最大の浸水高 (m) | 1.2 | 3.3 | 1.5 |
| 避難勧告発令時刻 | 4:50 | なし | 7:00 |
| 主要な災害原因 | 越波? | 高潮 | 高潮 |
| 死者 | 0 | 12 | 0 |

ある。

①時刻

表-8.1は、台風 9918 号によって浸水した代表的な 3 地区を比較したものである。八代海の沿岸では、多くの人はまだ寝ている時間帯に浸水が発生した。このような時に避難勧告が発令されるかどうかは、大きな分岐点になると考えられる。防波堤や堤防などの施設(ハード)だけで災害を完全に食い止めることは不可能であり、危険情報の伝達や避難など(ソフト)による防災と組み合わせる必要がある。一方、

周防灘の沿岸では、夜が明けてたいていの人が起きている時間帯に浸水が発生した。そのためか、二階の窓から海の状況をじっと見ていた人も多く、写真やビデオによる記録も多く残されている。ちなみに、台風 5915 号による高潮が名古屋を襲ったのは夜であり、停電による暗闇は避難をより一層困難にしたと言われている。台風 4216 号が周防灘に高潮を発生させたのも夜であった。

②浸水高

不知火町松合地区では、一階の屋根まで浸水したため、特に平屋建の住宅に住んでいる方の避難は困難であったものと考えられる。一方、龍ヶ岳町小屋河内地区や山陽町埴生地区での浸水は、大人の背丈を超えるほどではなかったため、幾分は避難が容易であったと考えられる。

③過去の経験

被災地の方々の高潮に対する関心は高く、ヒアリング調査をした際には「平成 3 年の台風(台風 9119 号、りんご台風)の時ですえ大丈夫だったから、今回の台風でも大丈夫だと思っていたのに。」とか「昭和 17 年(台風 4216 号)以来だよ。キジア(台風 5029 号)もルース(台風 5115 号)も大したことはなかったのに。」など、過去の台風と比較したお話を多くの方々から伺った。台風の強さ(中心気圧や風の強さ)と最高潮位の関係で整理されているようである。確かに、天文潮位と潮位偏差を分けて考えることができるのは、専門家など一部だけなのかも知れない。

9. おわりに

台風 9918 号による高潮について、数値計算と現地調査によって明らかにされたことをまとめると、以下のようになる。

①八代海の高潮とその被害

- ・現地調査や数値計算の結果によると、南部の水俣周辺で 1m 弱、北部の八代周辺では 2m 程度の潮位偏差が生じた。八代より湾奥では水深が非常に浅いため、不知火周辺では主として吹き寄せ効果によって 3m を上回る潮位偏差が生じた。
- ・満潮に近い時間帯に高潮が発生したために、被害は大きくなった。被害は龍ヶ岳町から不知火町を経て鏡町に至る範囲に集中した。不知火町松合地区の浸水は高潮によるもので、龍ヶ岳町小屋河内地区の浸水には越波も関係していると考えられる。

②周防灘の高潮とその被害

- ・現地調査や数値計算の結果によると、苅田から徳山に至る広い範囲で 2m 程度の潮位偏差が生じ、山陽周辺では 2.5m を超える潮位偏差が生じた。
- ・風速の低減係数と風向の偏向角を一定として推算した風で高潮計算をすると、宇部より西側で検潮記録よりも小さな潮位偏差となったため、風観測記録によって低減係数や偏向角を補正した。今後は、このような補正ではなく、陸上地形を直接考慮して海上風を推算できるように、高潮計算モデルを改良していく必要がある。
- ・満潮とほぼ重なって高潮が発生したために、非常に多くの護岸や防波堤が被災し、住宅地も広い範囲で浸水した。被害の範囲は苅田から徳山に至る広い範囲に及んだ。

③鹿児島湾の高潮

- ・数値計算の結果によると、湾口で 0.5m 程度、湾奥で 1m 程度の潮位偏差が生じた。

④大きな災害となった原因

- ・台風 9918 号は八代海に対して最悪のコースを通った。この台風が八代海や周防灘に発生させた潮位偏差は台風 9119 号の時と同程度であったが、満潮と重なったために災害の規模では台風 9119 号を上回った。
- ・八代海や周防灘の沿岸で発生した浸水の人的被害には、浸水の発生時刻、避難勧告の有無、浸水高などが密接に関わっているものと考えられる。

(2000 年 8 月 31 日受付)

謝辞

現地調査においては、被災地の方々から高潮の状況について貴重なご証言をいただくとともに、痕跡調査にもご理解をいただき、厚くお礼申し上げますとともに、被災地の一日も早い復興をお祈りする次第である。また、第四港湾建設局熊本港湾空港工事事務所、同北九州港湾空港工事事務所新門司事務所、同宇部港湾工事事務所(三田尻中関事務所を含む)、熊本県土木部港湾課、熊本県龍ヶ岳町役場、熊本県姫戸町役場、山口県防府港務所、山口県防府市漁業協同組合の方々には、被災時の状況の説明、被災箇所のご案内、資料の提供など、ご協力をいただいた。第四港湾建設局下関調査設計事務所、山口県土木建築部河川課、同港湾課、山口県山陽町役場の方々からも被災に関する資料を提供いただいた。この場をもつて厚くお礼申し上げます次第である。最後に、台風 9918 号による高潮・高波災害調査に関係した所内各位にもお礼申し上げます。

参考文献

- 宇野木早苗・磯崎一郎(1966)：高潮における気圧と風の効果の比較，第13回海講論文集，pp.248-253.
- 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所(1992)：台風による管内港湾施設の被災状況について，212p.
- 奥園英明・高橋典子(2000)：台風9918号による不知火町松合の高潮災害と上昇水位の現地調査，海洋開発論文集，第16巻，pp.393-398.
- 加藤一正(1999)：伊勢湾と三河湾における高潮の特性，平成11年度港湾技術研究所特別講演会一日港研 in 名古屋講演集，pp.1-18.
- 河合弘泰・高山知司・鈴木康正・平石哲也(1997)：潮位変化を考慮した防波堤堤体の被災遭遇確率，港湾技術研究所報告，第36巻，第3号，pp.3-41.
- 気象庁(1999)：平成12年潮位表，289p.
- 柴木秀之・青野利夫・見上敏文・後藤智明(1998)：沿岸域の防災に関する総合数値解析システムの開発，土木学会論文集，No.586/II-42，pp.77-92.
- 高橋重雄・大木泰憲・下迫健一郎・諫山貞雄・石貫国朗(2000)：台風9918号による護岸の被災とその対策に関する水理模型実験，港湾技研資料，No.973.
- 滝川 清(2000)：台風9918号による不知火海高潮災害～その残したもの～，災害報告，土木学会誌，vol.85，March，pp.41-45.
- 永井紀彦・橋本典明・佐藤和敏(2000)：台風9918号による西日本沿岸の波浪と潮位の出現特性，港湾技研資料，No.969.
- 橋本典明・真期俊行・吉松みゆき(2000)：波浪推算法による台風9918号の異常波浪の再現計算，港湾技研資料，No.970.
- 平石哲也・平山克也・河合弘泰(2000)：台風9918号による越波災害に関する一考察，港湾技研資料，No.972.
- 本多忠夫・光易 恒(1980)：水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究，第27回海講論文集，pp.90-93.
- 柳嶋慎一・加藤一正・藤江耕二・岩渕哲治・猿田光隆・平戸誠一郎・堀謙吾(2000)：台風9918号による虹ヶ浜海岸の高潮災害，港湾技研資料，No.974.
- 山本哲朗・瀬原洋一(2000)：山口県西部で被災した護岸の調査報告，災害報告，土木学会誌，Vol.85，May，pp.41-45.
- Kawai,H. (1999)：Storm Surge in Ise and Mikawa Bay Caused by Typhoon, *Proceeding of the 31st Joint Meeting of United State-Japan Panel on Wind and Seismic Effects*, 13p.

記号表

| | |
|-------------|---------------------|
| A_h | ：水平渦動粘性係数 |
| C_b | ：海面抵抗係数 |
| C_1 | ：風速係数(傾度風) |
| C_2 | ：風速係数(場の風) |
| D | ：全水深(= $h+\eta$) |
| f | ：コリオリのパラメタ |
| 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 | ：マニングの粗度係数 |
| $p(r)$ | ：気圧 |
| p_0 | ：海面での大気圧 |
| p_c | ：台風の中心での気圧 |
| Δp | ：気圧深度 |
| 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 |
| U | ： x 方向の平均流速 |
| u | ： x 方向の流速 |
| U_{gr} | ：傾度風の風速 |
| V | ： y 方向の平均流速 |
| v | ： y 方向の流速 |
| V_T | ：台風の移動速度 |
| W | ：風速 |
| W_x | ： x 方向の風速成分 |
| W_y | ： y 方向の風速成分 |
| w | ： z 方向の流速成分 |
| x | ：水平方向にとった座標系 |
| y | ：水平方向にとった座標系 |
| z | ：鉛直方向にとった座標系 |
| η | ：潮位偏差 |
| ρ_a | ：大気密度 |
| ρ_w | ：海水密度 |
| τ_{bx} | ：底面せん断応力の x 成分 |
| τ_{by} | ：底面せん断応力の y 成分 |
| τ_{sx} | ：海面せん断応力の x 成分 |
| τ_{sy} | ：海面せん断応力の y 成分 |

付録

1. 第1次調査

- (1)期間 平成11年9月28日(火)～29日(水)
- (2)調査地点 不知火町松合地区，鏡港，小屋河内漁港，大道港，樋島港，二間戸港，姫戸港，永

- 目港
- (3)構成
- 平石哲也 港湾技術研究所水工部波浪研究室長
河合弘泰 港湾技術研究所水工部主任研究官
丸山晴広 港湾技術研究所水工部波浪研究室研究員
古屋正之 第四港湾建設局熊本港湾空港工事事務所次長
- 奥村 嘉 熊本県土木部港湾課参事

- (4)概要
- 9月28日 朝一便で熊本空港に到着。午前中に熊本港湾空港工事事務所で被災状況の説明を受け、調査の詳細な日程について検討。昼過ぎから不知火町松合地区でヒアリングと水準測量を実施。夕方に鏡町を調査。熊本市内泊。
- 9月29日 午前中に龍ヶ岳町役場災害対策本部で被災状況の説明を受けた後、被災箇所を調査。午後に姫戸町の被災箇所を調査。夕方、帰途につく。

2. 第2次調査

- (1)期間 平成11年10月13日(水)～14日(木)
- (2)調査地点 秋穂町尻川湾海岸、秋穂漁港、山口港、宇部港、山陽町殖生地区、北九州市和布刈地区、青江地区、白野江地区、新門司港
- (3)構成
- 下迫健一郎 港湾技術研究所水工部主任研究官(現 耐波研究室長)
- 河合弘泰 港湾技術研究所水工部主任研究官
小原和行 第四港湾建設局宇部港湾工事事務所工務課長
- 柴崎義孝 第四港湾建設局北九州港湾空港工事事務所新門司事務所第二工事課長

- (4)概要
- 10月13日 朝一便で山口宇部空港に到着。午前中に宇部港湾工事事務所で被災状況の説明を受け、秋穂町、山口市内の被災箇所ヒアリングおよび水準測量を実施。午後からは宇部市内および山陽町の被災箇所を調査。小倉泊。
- 10月14日 午前中に北九州市の和布刈地区から新門司港までの被災箇所を調査。青江地区などでは水準測量も実施。午後は新門司港・苅田港沖合埋立護岸の被災箇所を調査。

夕方、帰途につく。

3. 第3次調査

- (1)期間 平成11年11月1日(月)～2日(火)
- (2)対象地点 山陽町殖生地区、三田尻港、中ノ浦港
- (3)構成
- 河合弘泰 港湾技術研究所水工部主任研究官
丸山晴広 港湾技術研究所水工部波浪研究室研究員
田中良男 港湾技術研究所水工部波浪研究室研修生
石井伸治 第四港湾建設局宇部港湾工事事務所第一工事課長
- 田中信吾 第四港湾建設局宇部港湾工事事務所庶務課長
- 潮見幸司 第四港湾建設局宇部港湾工事事務所三田尻中関事務所第二工務課工事係長

- (4)概要
- 11月1日 朝一便で山口宇部空港に到着。午前中に宇部港湾工事事務所で調査の詳細な日程を検討した後、山陽町役場で被災状況の説明を受ける。午後からは山陽町殖生地区で水準測量を実施。宇部市内泊。
- 11月2日 午前中に山口県防府港務所と防府市漁業協同組合で被災時の状況をヒアリングし、それに基づいて水準測量を実施。午後から中ノ浦漁港でも水準測量を実施。夕方、帰途につく。

港湾技研資料 台風9918号高潮災害関連

No.969~974

2000.12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 昭和情報プロセス(株)

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (2000) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。