

周防灘と玄界・響灘沿岸の高潮特性に関する研究

STORM SURGE CHARACTERISTICS ALONG THE COASTS OF THE SUŌ,
GENKAI AND HIBIKI SEAS.

小島治幸¹・藤井寿人²

Haruyuki KOJIMA and Hisato FUJII

¹正会員 工博 九州共立大学 工学部土木工学科 (〒807-8585 福岡県北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8)

²学生会員 九州共立大学大学院 工学研究科 (〒807-8585 福岡県北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8)

In 1990's, in the Kyushu coastal areas landed T9119 and T9918 which generated the recorded maximum storm surge level, and large damages were caused in various places along the Kyushu coastal areas. For disaster prevention, it is important to examine vulnerable areas where the storm surge increases remarkably. This research aims to study through a numerical analysis the storm surge amplification characteristics along the coasts of the Suō, Genkai and Hibiki seas by varying typhoon parameters including typhoon tracks, central pressures and forward speeds.

Key Words: Storm surge, numerical analysis, typhoon track, disaster prevention

1. はじめに

九州沿岸域では, 1990年代に入ってから観測史上最大級の高潮が2回発生している。1回目は, 1991年9月の9119号台風(T9119)によるもので, 2回目は, 1999年9月の9918号台風(T9918)によるものである。幸いにして, T9119においては干潮時近くに発生したため高潮災害としてはそれほど大きくなかった。一方, T9918は, 1999年9月24日未明, 九州の西の海上から天草諸島を通過して, 6時ごろ熊本県北部へ中型で強い勢力を維持したまま上陸した。その後, 九州北部から中国地方西部を通過して日本海に抜け本州沿いを北進して, 25日2時ごろ北海道渡島半島に再上陸し, オホーツク海へと去った。九州や西中国地方では台風の通過と満潮が重なり各地で高潮災害にみまわれた。特に, 熊本県不知火海の湾奥部に位置する不知火町松合地区では高潮と高波によって海水が低水地内に一気に流水し12名もの犠牲者がでた。また, 周防灘沿岸では浸水被害や護岸堤防の被害が多数起こり, 山口県と福岡県の両県で港湾・海岸施設の被害額は100億円以上¹⁾であった。この台風による高潮災害については, 滝川²⁾や山本ら³⁾, 小島⁴⁾, 河合ら⁵⁾が台風と高潮の特徴や被害状況をまとめている。

台風の経路や規模により高潮偏差が著しく増大する危険地域があるか検討することが防災上重要である。このために, モデル台風を想定して高潮数値シミュレーションにより高潮偏差を推定することが必要である。これに関しては, 佐藤ら⁶⁾が周防灘海域に対して行っているが, モデル台風の設定等必ずしも十分とは言えない。本研究では, 周防灘や玄界灘沿岸地域において台風の経路や規模, 移動速度などを変化させて高潮増幅特性を明らかにし, 高潮に対する地域防災計画に役立てることを目的とする。

2. 研究内容

(1) 数値解析法

高潮の数値計算は, 次式で表される連続の式と非線形長波理論式(浅水理論式)を数値差分して解く方法を用いた。

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right)$$

$$= fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sx} - \tau_{nx}) + A_n \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sx} - \tau_{sy}) + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

式(1)中の M , N は水平 (x, y) 方向の流量を, p_0 は大気圧を, τ_{sx} , τ_{sy} は海面せん断応力を, τ_{bx} , τ_{by} は底面せん断応力を表し, それぞれ次式で与えられる.

$$\left. \begin{aligned} M &= \int_{-h}^{\eta} u dz = u(h + \eta) = uD \\ N &= \int_{-h}^{\eta} v dz = v(h + \eta) = vD \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{sx} &= \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \\ \tau_{sy} &= \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{bx} &= \frac{\rho_w g n^2}{D^{1/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \\ \tau_{by} &= \frac{\rho_w g n^2}{D^{1/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに, u , v はそれぞれ x , y 方向の流速成分, h は静水深, η は静水深から上向きの水面偏差, f はコリオリ係数, g は重力加速度, ρ_a は空気の密度 (1.22 kg/m^3), C_D は海面の抵抗係数, (W_x, W_y) は海上 10m 高度の (x, y) 成分風速, ρ_w は海水の密度 (1030 kg/m^3), n はマンニングの粗度係数 ($=0.026$) である. 台風の影響範囲における気圧分布は, Myers の式を用いて,

$$p(r) = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (5)$$

と表される. ここで, r は台風中心からの距離, $p(r)$ は地点 r における気圧, p_c は台風の中心気圧, Δp は台風の中心示度, r_0 は台風半径である. この気圧分布を仮定すると傾度風の風速は次式で与えられる.

$$U_{sr} = -\frac{rf}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf}{2}\right)^2 + \frac{\Delta p}{\rho_a} \frac{r_0}{r} \exp\left(\frac{r_0}{r}\right)} \quad (6)$$

高潮推算に用いられる海上風への変換は, 傾度風速と場の風に $0.60 \sim 0.70$ 程度の風速の低減率を乗じ, 約 30° の角度で低圧部の方向に風向を変更させることを行った.

(2) 検証に用いる台風の選定

調査対象区域は, 九州北部海域の玄海・響灘と周防灘である. この海域の検潮所として, 下関港, 博多港, 荏田港などがあり, 台風データおよび潮位波形データは福岡管区气象台や下関地方气象台, 第七管区海上保安庁および旧運輸省第四港湾建設局から収集したものを使用した. 潮位波形データと天文潮位を用いて高潮偏差を求め, 経路別に分けて高潮の

統計解析を行った. 計算の検証に用いた台風は, 近年, 顕著な高潮をもたらした各地で既往最大潮位をもたらした T9119 と T9918, および九州地方をほぼ直線的に縦断した台風として T8013 を選定した.

(3) 計算領域とモニター点の設定

計算領域は, 一番大きな領域 (メッシュ間隔 16200 m) で, 北緯 24.4 度から北緯 35.7 度まで, 東経 119.5 度から 136.5 度までの範囲である. メッシュ間隔の最小値は 200m である. 水深データは, 海図および海底地形図より読み取ったデータを用いた.

対象海域のモニター点は, 地形的に高潮災害が起こりそうな博多港, 荏田港, 下関, 宇部港, 埴生, 大海, 山口港の 7 つの地点とし, 図-1 に示す.

(4) モデル台風の設定

a) 台風経路の設定

九州地方を通過した過去の台風経路を調べると 2 つに大別できる. 1 つは, 九州をほぼ直線的に縦断したコースで最近では T8013 がこれに相当する. 2 つめは, 九州地方を北東方向に斜めに横断したコースで T9119 や T9918 がこれにあたる. これより, モデル台風の経路は A コース (縦断方向) を T8013 の移動経路 (図-2 参照), B コース (横断方向) を T9119 の移動経路 (図-3 参照) とし, 各コースについてこれを中心として東西に経路を 0.5 度間隔でずらした計 5 コースとした. その結果から, 一番高潮災害の危険性があるコースを決定し, 中心気圧, 移動速度の値を変化させ数値計算を行った.

b) 中心気圧の設定

モデル台風の大きさは, 過去最大級の台風で高潮による被害の最も大きかった 1959 年の伊勢湾台風をモデル台風の大きさとして選定した. 図-4 は, 伊勢湾台風の中心気圧値と緯度との関係を図示したもので, 図中の回帰曲線の式を用いて最低中心気圧を決定した. A コースでは最低中心気圧 $910 \sim 950 \text{ hPa}$ まで 10 hPa 間隔で変化させ, B コースでは最低中心気圧 $915 \sim 955 \text{ hPa}$ まで 10 hPa 間隔で変化させた.

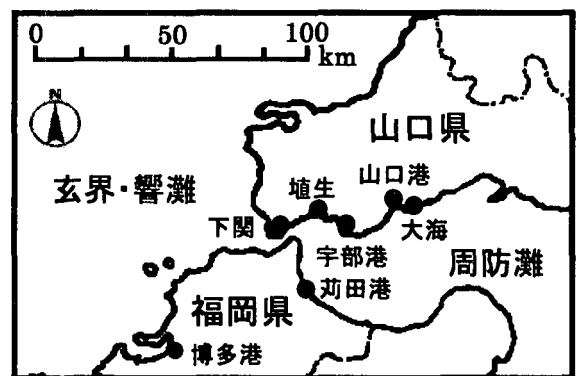


図-1 モニター点の位置

c) 移動速度の設定

移動速度は、縦断コースに関してT8013を基準とし、横断コースに関してはT9119を基準とした。移動平均された実測速度と緯度との関係を表わす回帰曲線と式を求め、縦断コースでは初期移動速度を11km/hr~31km/hrまで5km/hr間隔で変化させ(図-5参照)、横断コースでは初期移動速度を27.5km/hr~47.5km/hrまで5km/hr間隔で変化させた(図-6参照)。

3. 結果と考察

(1) 実測値と計算値の比較

高潮偏差と風速、気圧の実測値とそれらの計算値とを比較して数値解析法の検証を行った。図-7に荊田港、図-8に下関のT8013の結果を示し、T9919の結果を図-9(荊田港)、図-10(宇部港)にそれぞれ示している。上から風速、気圧、高潮偏差の時間変化を表わしている。縦断コースのT8013に対する計算値と実測値の一致は、2つのモニター点において気圧、高潮偏差ともに良好である。風速に関しては下関で実測値が計算値よりも小さいのは陸域での風速を測っているためと思われる。

T9918 に関しては、荊田港(図-9)、宇部港(図-10)とも高潮偏差の計算値が実測値に比べかなり小さく、荊田港では計算値が実測値の約50%、宇部港では約60%となった。これは、河合ら⁵⁾も指摘しているように、海上風の推算に問題があると思われる。紙面の関係で図は示せないが、同じ横断コースのT9119の場合も、高潮偏差の計算値が実測値よりも同程度小さい結果となっている。

(2) 台風経路の結果

図-11, 12は、伊勢湾台風級のモデル台風に対す

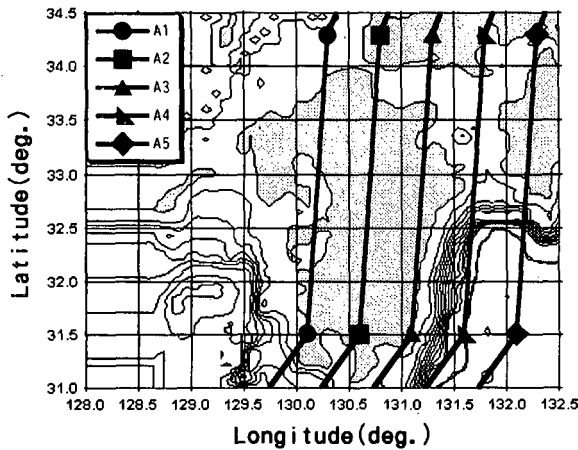


図-2 T8013を基準とした台風経路Aコース

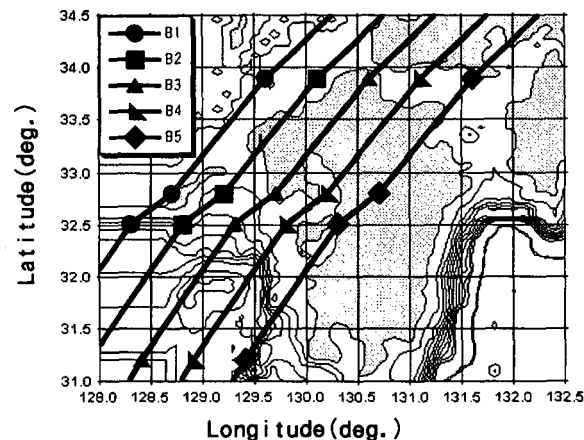


図-3 T9119を基準とした台風経路Bコース

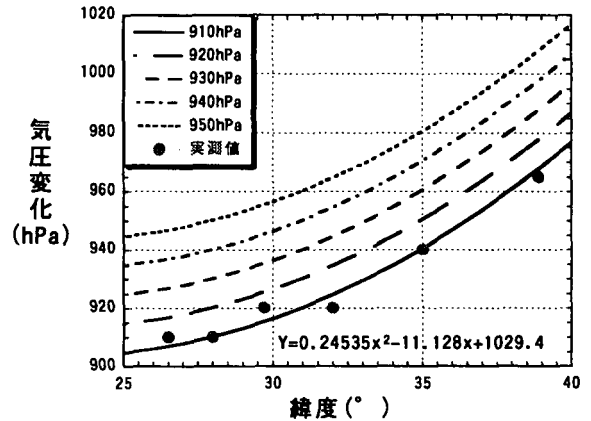


図-5 T8013を基準としたモデル台風の移動速度(縦断コース)

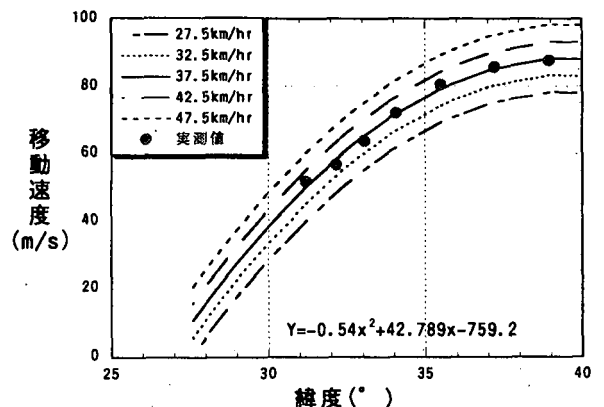
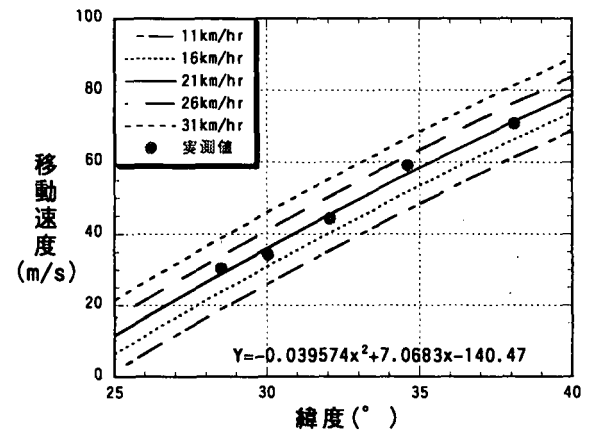


図-6 T9119を基準としたモデル台風の移動速度(横断コース)

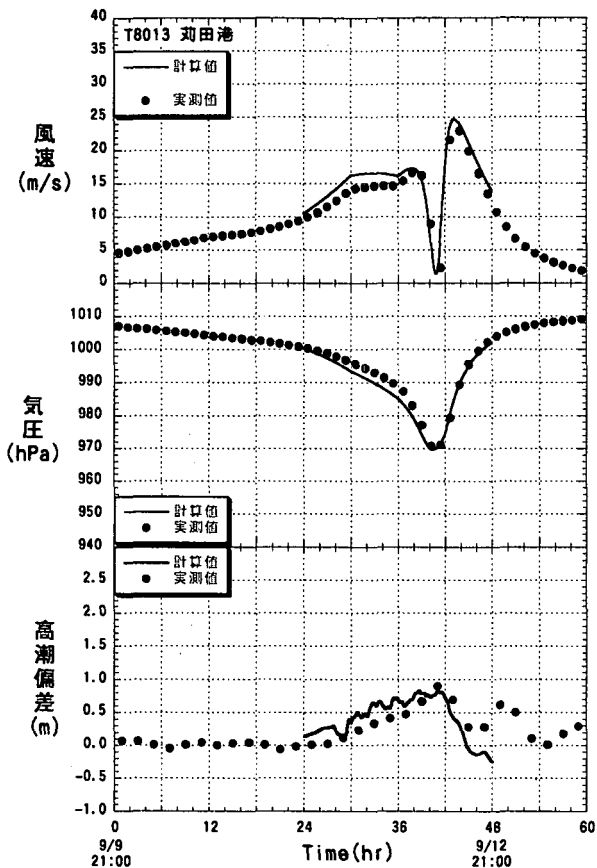


図-7 T8013 における 荻田港の
計算値と実測値の比較

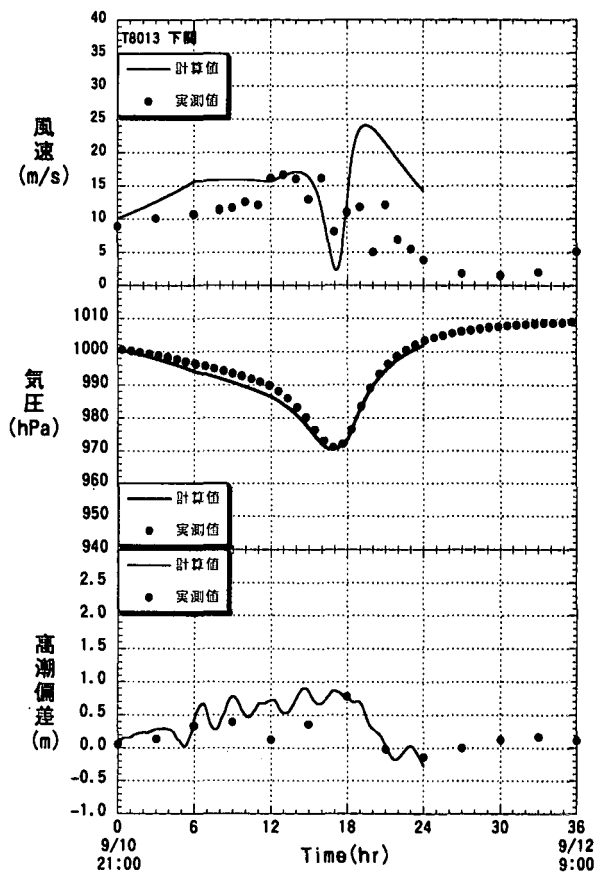


図-8 T8013 における 下関の計
算値と実測値の比較

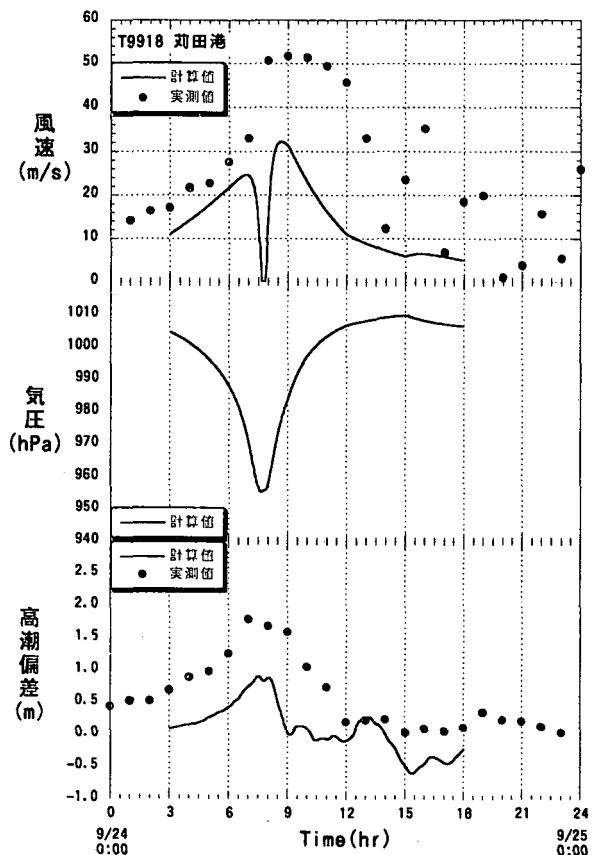


図-9 T9918 における 荻田港の
計算値と実測値の比較

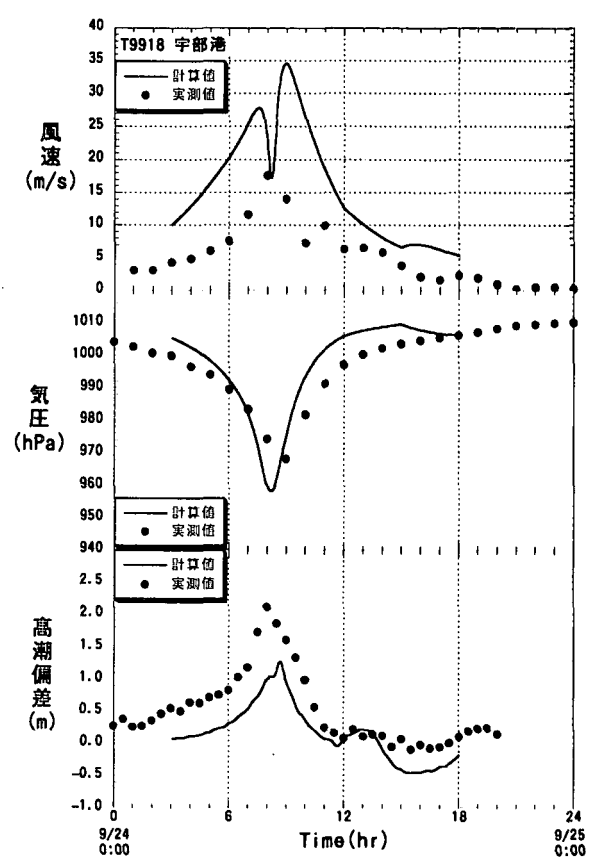


図-10 T9918 における 宇部港の
計算値と実測値の比較

各コースにおける高潮偏差の計算結果を表わしたグラフである。図に示す四つのモニター点において全体的に大きい高潮偏差が見られたのは、縦断方向のAコースでは実際の経路であったA3コース、横断方向のBコースでは玄界灘の博多港で実際の経路より西に0.5°ずれたB2コース、周防灘沿岸ではB3コースであった。よって、A3コースとB2コースに対して、モデル台風の規模や移動速度を変えた計算を行うことにした。

(3) 中心気圧変化の結果

図-13は、A3コースの山口港における計算結果で、上から風速、気圧、高潮偏差の時間変化を表わしている。風速の増加と気圧の低下により急激に高潮偏差が増大し、台風が通過した直後に高潮が最大になることがわかる。図-14、15は、各モニター点におけるA3、B2コースでの最低中心気圧変化と可能最大高潮偏差の関係を表わしている。A3コースでは最高値の山口港で3.57m、次に大海の2.98m、最低値は博多港の0.78mであった。最低中心気圧変化に対する偏差の変化を増幅率で表わすと、山口港では0.042m/hPa、壱生で0.034m/hPaであり、一番低い博多港は0.0008m/hPaであった。B2コースでも山口港で最大2.90m、低い偏差は苅田港で

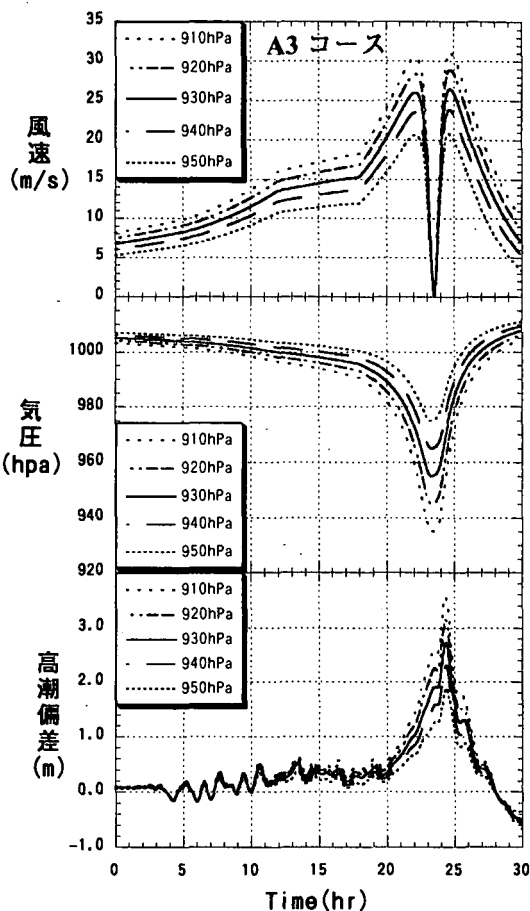


図-13 最低中心気圧変化による時系列データ

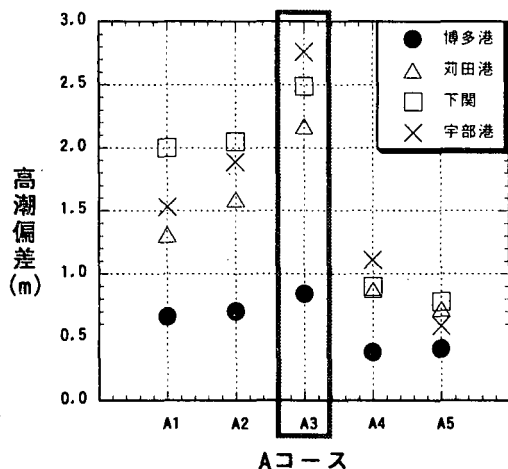


図-11 Aコースの可能最大高潮偏差

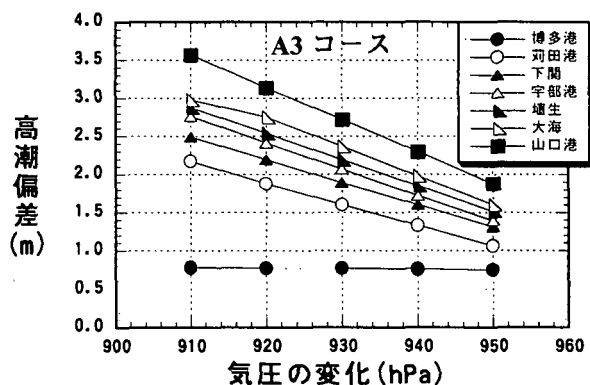


図-14 中心気圧変化によるモニター点ごとの可能最大偏差(縦断コース)

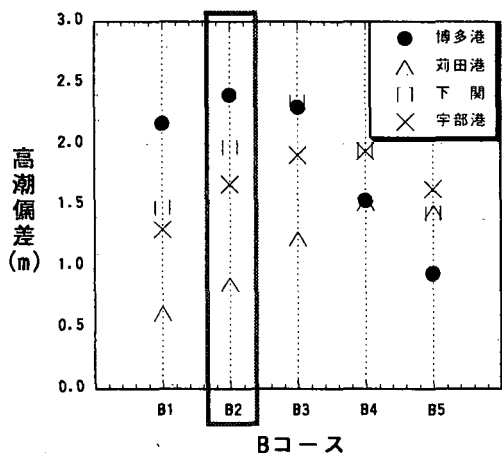


図-12 Bコースの可能最大高潮偏差

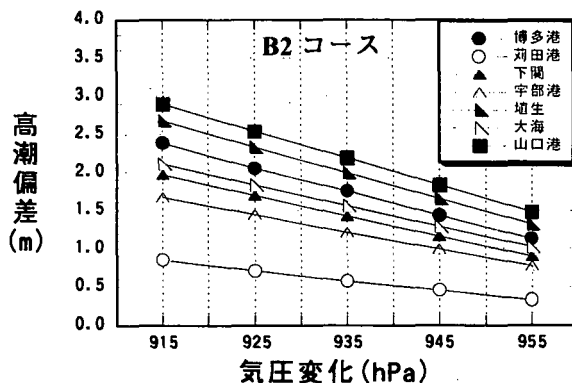


図-15 中心気圧変化によるモニター点ごとの可能最大偏差(横断コース)

0.85mであった。増幅率は、苅田港で 0.013m/hPa と小さかった以外は、他の地点でほぼ同じであり約 0.036m/hPa であった。

(4)移動速度の結果

図-16は、移動速度を変えて数値計算を行った山口港の結果で、上から風速、気圧、高潮偏差の時間変化を表わしている。移動速度が速いほど最大高潮偏差が早い段階で表れている。それぞれの移動速度での最高風速を過ぎた時点から気圧変化の場合と同じく高潮が増大している。

図-17, 18は、それぞれ A3 コースと B2 コースの結果で、移動速度の変化と可能最大高潮偏差の関係を表わしている。A3 の縦断コースでは博多港、苅田港、下関以外は、移動速度が速くなるにつれて高潮が増加する傾向がみられる。特に、初期移動速度が 21km/hr まで偏差増大の勾配が急で、それ以降はゆるやかになる。B2 の横断コースでは、全体的に増幅率は小さいが、博多港と苅田港以外は移動速度が大きくなると偏差も増大傾向にある。

4. あとがき

ここで用いた数値モデルによると、T8013 のように九州を北方向に縦断した台風に関しては高潮偏差の大きさを良く再現できたが、T9119 や T9918 のように北東方向に横断した台風に関しては計算値が過小評価となった。これに関しては、陸上地形による風の変化を考慮できるマスコンモデルの適用やスーパーグラディエント風の導入などによって、台風モデルの高度化を図る必要があると考える。周防灘と玄界灘の沿岸域において、高潮増幅特性の危険な台風経路は、縦断コースでは T8013 の経路と同じ A3 コース、横断コースでは B2 と B3 (T9119 経路) コースであった。最低中心気圧を変えた場合は、台風経路 A3 コースと B2 コースで、周防灘の北側に位置する沿岸において高潮偏差の値およびその増幅率が高いため高潮災害の危険性が高いといえる。移動速度を変えた場合、全般的に速度が速くなるほど高潮偏差が増大する傾向がある。また、周防灘北岸の海岸でその傾向が強くなる。

参考文献

- 1) 特集高潮災害の被害と対策:波となぎさ, No.144, pp.4-30, 2000.
- 2) 滝川 清:台風 9918 号による不知火海高潮災害, 土木学会誌, Vol.85, March, pp.41-45, 2000.
- 3) 山本哲郎, 瀬原洋一:山口県西部で被災した護岸の調査報告-1999 年台風 18 号高潮災害, 土木学会誌, vol.85, May, pp68-72, 2000.

- 4) 小島治幸:台風 9918 による高潮災害, 気象利用研究, 第 13 号, pp.16-22, 2000.
- 5) 河合弘泰ら:八代海と周防灘における台風 9918 号の高潮・波浪災害の現地調査, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.311-315, 2000.
- 6) 佐藤ら:周防灘海域における台風 9918 号による高潮災害及び危険度判定手法について, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.316-320, 2000.

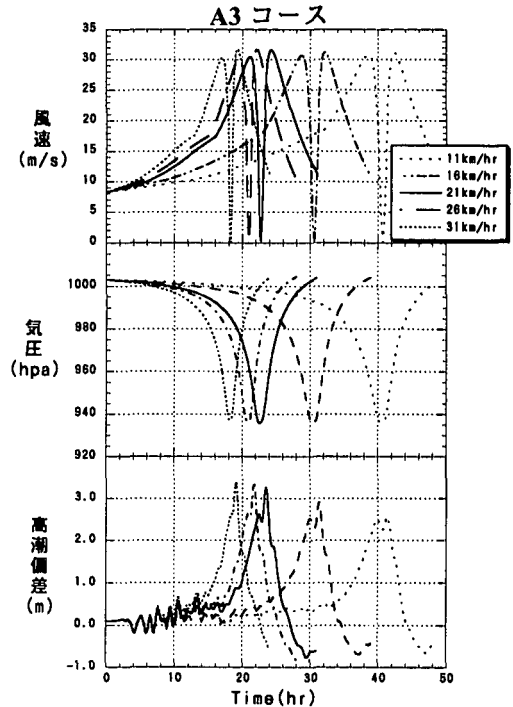


図-16 移動速度変化による時系列データ

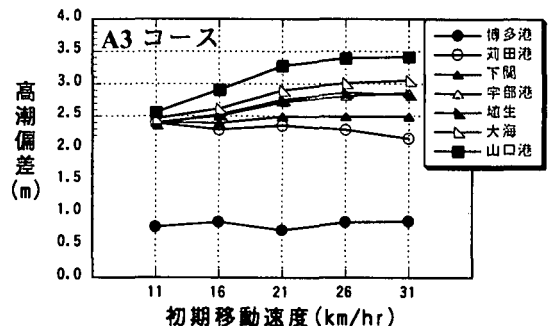


図-17 移動速度による可能最大偏差 (縦断コース)

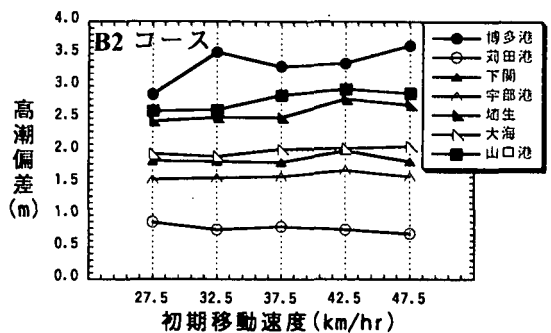


図-18 移動速度による可能最大偏差 (横断コース)