

台風9918号による周防灘での高潮高波被害の特性

光永臣秀¹・平石哲也²・宇都宮好博³・三原正裕⁴・大川郁夫⁵・中川浩二⁶

¹正会員 工修 山口県 岩国港湾管理事務所(〒740-0002 山口県岩国市新港町4-26-5)

²正会員 工博 (独)港湾空港技術研究所 波浪研究室(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 工修 日本気象協会 首都圏支社調査部(〒170-6055 東京都豊島区東池袋9-1-1)

⁴非会員 (株)エコー 環境水理部波浪情報室(〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

⁵非会員 (株)東京久栄 建設環境統括部(〒333-0866 埼玉県川口市芝鶴ヶ丸6906-10)

⁶正会員 工博 山口大学 工学部社会建設工学科(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

1999年の台風18号は、山口県の周防灘沿岸に甚大な被害を及ぼした。本研究では、Myersの傾度風モデルおよびマスコンモデルにより風域場を再現し、被害発生に至るまでのこの台風による高潮と波浪のシミュレーションを行い、山口県周防灘沿岸代表11地点の被災時における各施設への波力等の外力を推定した。これにより、現行の設計方法を用いて護岸や防波堤の被災メカニズムについての検討考察を行った結果、防災基準の設定時の想定を越えた異常潮位や波浪の発生により、護岸においては基準を超えた越波による裏埋土砂の洗掘と、想定を越えた引き波による負圧発生、防波堤においては浮力の増大により堤体が不安定化が生じ被災に至ったものとの結論を得た。

Key Words : typhoon 9918, unusual tide level, wave overtopping

1. はじめに

1999年の台風18号(以下「T9918号」と言う)は、山口県の周防灘沿岸に甚大な被害を及ぼした。特に、来襲した時刻が大潮の満潮時に重なったことから高潮による被害が多く発生した。

山口県においては従前より、これらの異常気象を想定し一定の防護基準を設け、堤防・護岸等の防災施設を整備してきたが、今回の高潮や高波は各地でこれを上回り、堤防の越水や破堤等が発生し戦後屈指の被害規模となった。

このため、山口県においては、高潮防災に対する防護基準の見直しを行うこととなった。この検討に当たっては、T9918号による災害復旧を早期に完了させる必要があることから、できるだけ早期に検討結果を得ることとし、「設計潮位の再設定」と「現状の波浪推算方法の検証」の2項目については直ちに検討成果を災害復旧に反映することとした。

この中で、筆者らは山口県に来襲した台風の規模、コースやその被害状況、さらには周防灘におけるT9918号による高潮および波浪場の推算モデルについて検討を行い、各施設の被災メカニズムについて調査・検証を行った。

本論文では、筆者らが検討した推算モデルを用いて、山口県の周防灘沿岸におけるT9918号来襲時の護岸等の防災施設への波浪等の外力を再現し、被災に至った原因を究明し、T9918号の高潮被害の特性について考察した。

2. 周防灘における被害

(1) 山口県における既往の台風被害

山口県付近を通過した主な台風の経路と山口県に影響を及ぼした主な台風と被害をそれぞれ図-1および表-1に示す。この資料から1950年代ならびに1990年代に台風が多く来襲していることが認められる。また、山口県では1950年代の被害を受け、1959年に台風常襲地帯(「台風常襲地帯における災害の防除に関する特別措置法」の適用地域として山口県(全域)が指定され、護岸等の整備が進められた。

(2) T9918号による高潮被害

過去の台風の中で記録に残る潮位偏差値を表-2に示す。T9918号による潮位偏差値はこの中でも大きな値を示している。

県内4港湾および1海岸(位置は図-2参照)にお

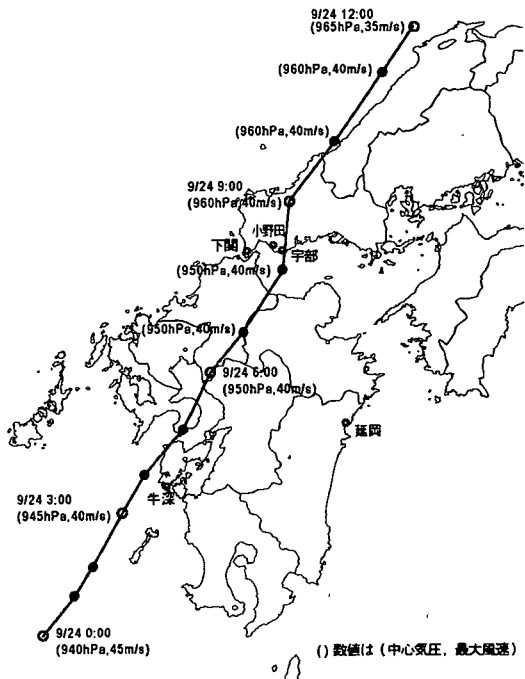


図-3 T9918号の経路図

表-6 T9918号の勢力規模の検討

	T9918号の観測値	再現期間
最大瞬間風速	41.9m/s	9.8年
最大風速	19.0m/s	7.6年
海面気圧	963.1hPa	16.4年

表-5, 図-2にT9918号による公共施設の被害およびその位置を示す。高潮による被害は、港湾、漁港施設に多かった。このほか、山口宇部空港や周南流域下水道終末処理場などが高潮と波浪により甚大な被害を受け都市機能がマヒした。

洪水による被害は、県東部や北部の山間地（錦町等）を中心として発生しており、その原因としての短時間のゲリラ的な集中豪雨を観測した。

3. T9918号による高潮と高波の観測記録

(1) T9918号の気象観測記録

T9918号の経路を図-3に示す。T9918号は南西諸島付近で大型で非常に強い台風に発達した。9月24日04:00に、熊本県牛深市付近に上陸した。勢力は、中心気圧940hPa、最大風速40m/sの大型で強い台風となり、牛深市で66.2m/s、延岡市で51.9m/sの観測史上最高の最大瞬間風速を記録した。

台風は、いったん周防灘に抜けた後、08:00過ぎに宇部市付近に再上陸した。このときの中心気圧は

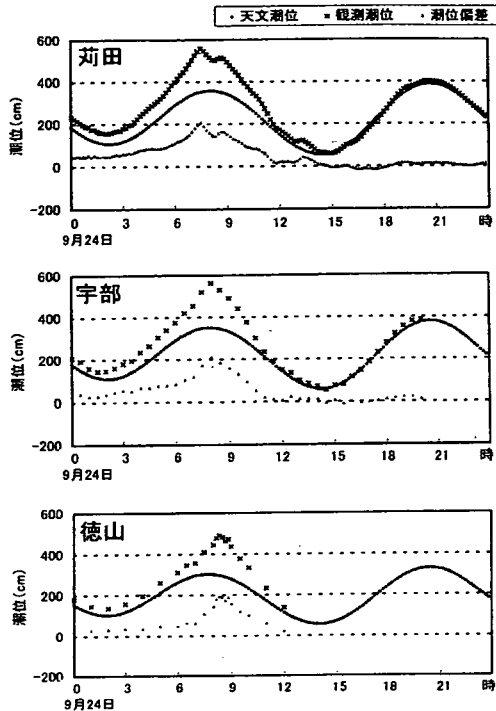


図-4 潮位観測記録（宇部、徳山の観測値は台風通過時刻後欠落あり）

950hPa、暴風半径は150kmであった。小野田市では07:26に市役所において最大瞬間風速38.5m/sを記録した。山口宇部空港に設置されていた風速計が壊れたが、実際の最大瞬間風速は40m/sを超えた可能性がある。

山口県の基準の観測所と考えられる下関地方気象台の15年間（1983～1997）の気象データをもとに風速・気圧の極値統計の解析結果を表-6に示す。今回のT9918号は風速でみると10年弱、気圧でみると20年弱に平均的に1回襲来する規模となっている。

(2) 潮位の観測記録

荻田、宇部、徳山の観測潮位、天文潮位および偏差を図-4に示す。山口県に再接近した08:00ごろにかけ潮位偏差が増加しているのがわかる。

表-2に示すとおり、T9119号ではT9918号より大きな潮位偏差を観測したが、台風の来襲時刻と満潮時刻に3時間程度のずれがあったことから、大規模な浸水被害は発生しなかった。これに対し、T9918号では台風が最接近した08:00頃は、周防灘周辺の大潮期の満潮時刻と重なっており、結果として記録的な高潮位が生じ大規模な災害が発生することとなった。このことは、T9918号の大きな特徴と言える。

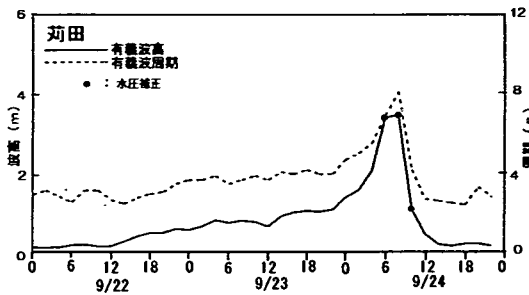


図-5 苅田における有義波の波高と周期の経時変化

(3) 波浪の観測記録

苅田での有義波高・周期の経時変化を図-5に示す。台風の再接近時には08:00の有義波が、波高3.46m、周期8.1秒となり大きな波高と長い周期が観測された。

なお、苅田における波高観測では、超音波波高計と水圧波高計を併用し波高を求めることとしていたが、台風最接近時に超音波波高計に欠測が生じた。このため、水圧波高計の観測値を欠測前の両波高計の応答特性により補正し波高を求めた。

4. T9918号による高潮および波浪の推算

(1) 高潮偏差の推算

a) 台風モデル

台風による風と気圧変動はMyersの式¹⁾により計算した。このとき、周辺の気象観測点の気圧データとの整合が図られるように台風半径を設定した。この操作を台風の移動とともに繰り返し、1時間毎に設定結果から各計算時間ステップの風と気圧分布を内挿して求め、台風の構造が時間的に連続して変化するように設定した。モデル化した台風の経路と半径の変化を図-6に示す。図中の円は、Myersの気圧分布仮定する時に用いた台風半径の大きさを示す。

数値シミュレーションのための格子分割は、周防灘においては、高潮偏差の著しい西部域を200m格子とし、東部域を600m格子とした。また、豊後水道から太平洋にかけては、格子間隔を1800m、5400m、16200mと段階的に広げて設定した。

b) 計算手法

高潮推算では、気圧低下による海面の吸い上げおよび強風による海水の吹き寄せの2つの効果をモデル化した。

台風の気圧分布は以下に示すMyersの式で与えた。

$$P(r) = P_c + \Delta P \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right) \quad (1)$$

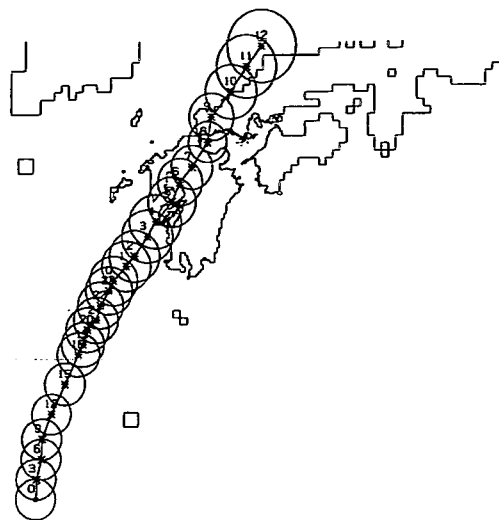


図-6 T9918号モデルにおける経路と台風半径

ここに、 P_c は中心気圧、 ΔP は気圧深度、 $P(r)$ は中心から r だけ離れた点の気圧、 r_0 は台風半径である。また、台風により発生する風は、気圧勾配に起因する傾度風と台風が移動することによって生じる場の風の成分が合成されたものとして表される。

傾度風の風速 $U_{gr}(r)$ は一般に次式で与えられる²⁾。

$$U_{gr}(r) = -\frac{f r}{2} + \sqrt{\left(\frac{f r}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho_a} \frac{\partial P(r)}{\partial r}} \quad (2)$$

ここに、 f はコリオリの係数、 ρ_a は大気密度である。

この式にMyersの式を代入すると、

$$U_{gr}(r) = -\frac{f r}{2} + \sqrt{\left(\frac{f r}{2}\right)^2 + \frac{\Delta P r_0}{\rho_a r} \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right)} \quad (3)$$

が導かれる。

この風速は、地表面摩擦が無い理想的な条件の場合である。地表面との摩擦を考慮すると風速は小さくなり、風向きはやや台風の中心向きになる。この風速(m/s)は次式で表される。

$$U_1 = C_1 U_{gr}(r) \quad (4)$$

ここに、 C_1 は地表面との摩擦係数(通常0.6~0.7)である。

台風が移動することによる場の風の成分 U_2 (m/s)は次式で与えられる。

$$U_2 = C_2 \frac{U_{gr}(r)}{U_{gr}(r_0)} V \quad (5)$$

ここに、 V は台風の移動速度(m/s)、 C_2 は係数(通常0.6~0.7)である。なお、この風の向きは台風の進行方向と同じである。

c) 計算結果

最大潮位偏差の計算値と観測値の比較に当たって、観測値を信頼度A~Cに区分し、検潮記録の欠測しているものおよび越流水深が不明のものは下限値とした。ここで、信頼度Aは検潮記録によるピーク値(新門司、北九州はピーク値を補正)、信頼度Bは痕跡や目撃証言によるピーク値で波浪の影響の無いもの、信頼度Cは痕跡や目撃証言によるピーク値で波浪が影響しているものとした。これらの観測値と計算値の比較を図-7に示す。図中の破線は補正をしない標準的な係数を用いた台風モデルの風速を用いて推算した潮位偏差で、周防灘西部で観測値との乖離が大きくなっている。

本検討では、被害特性を把握するために、実際に発生した潮位偏差の近似解を求める必要があることから、以下に述べる補正を行った。

周防灘は周囲を複雑な地形で囲まれた海域であり、台風に伴う風はこれら陸上地形の影響を受ける。そこで、周防灘西部の風に着目し、海上風と見なすことのできるデータが得られた荻田(荻田沖波浪観測点、風速計の高さ10m)と松山観測所(風速計の高さ30m)を中心に風向・風速が実測値に合うように台風モデル中の係数 C_1 、 C_2 (式(4)、(5))の補正を行った。係数の補正の考え方は河合・平石³⁾を参照されたい。

この結果、補正前と比べ、台風経路西側において再現性の改善が図られ、ほぼ観測値の再現できたものとする。

計算により得られたT9918号による最大潮位偏差の平面分布を図-8に示す。周防灘では西部の湾奥部に向かい潮位偏差量が増加傾向にあり、山口県の徳山以西のほとんどの海岸と福岡県の荻田から門司の海岸で最大潮位偏差が2mを越えていたことがわかる。これに比べ山口県東部では潮位偏差は2m以下であるが、広島湾の奥部では2mを越えていることがわかる⁴⁾。

(2) 沖波波浪の推算

a) 台風モデル

高潮の推算と同様に、モデル台風はT9918号を用いた。計算格子は、周防灘周辺は3~4km(緯度およ

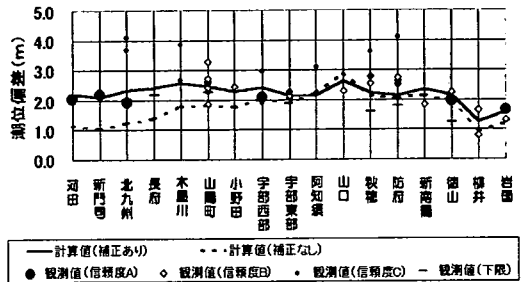


図-7 T9918号による最大潮位偏差の観測値と計算値

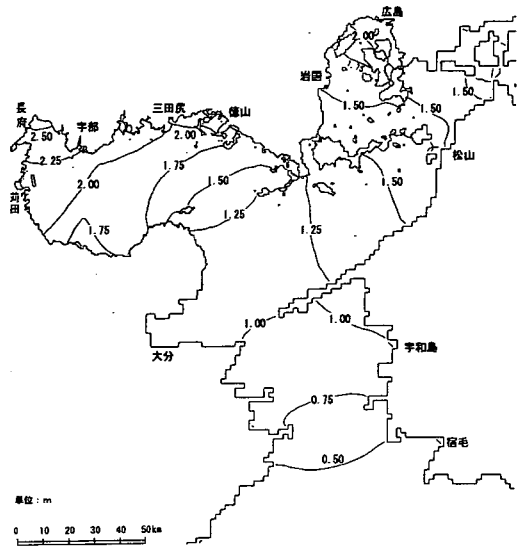


図-8 T9918号による最大潮位偏差分布(計算値)

び経度に換算して $1/27^\circ$ 格子とし、豊後水道から外洋にかけて10~12km(同 $1/9^\circ$), 20~40km(同 $1/5^\circ$), 40~50km(同 $1/3^\circ$), 50~110km(同 1°)と段階的に設定した。

b) 計算手法

① 風の推算

波の推算に用いる風の推算にあたっては、Myersのモデルにより風速を推算した。ただし、周防灘が陸地に囲まれた海域であり、その陸上地形により海上風が局所的に偏向する可能性が高い。波浪推算においては、局所的な風によるせん断応力の変化が、波高と波向に大きな変化を与える。このため、風向については、陸上地形を考慮し、3次元の風場を再現できる3次元マスコンモデル^{5), 6), 7)}による推算波向を用いた。今回の検討に用いた周防灘周辺の陸上地形の等高線を図-9に示す。



図-9 周防灘周辺の等高線 (数値は標高を示す)

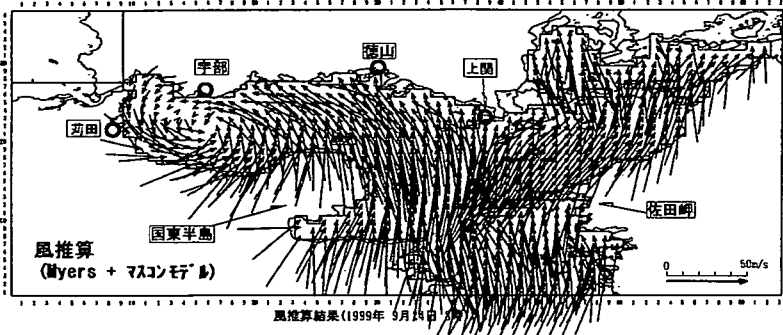


図-10 風場の推算結果例(9月24日8時)

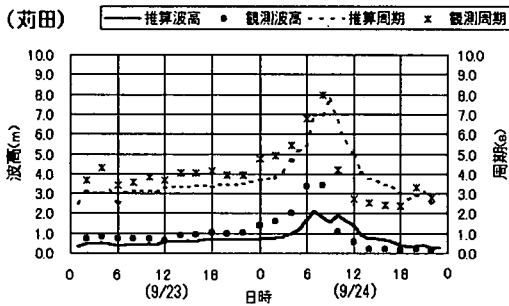


図-11 波浪の推算結果 (萩田)

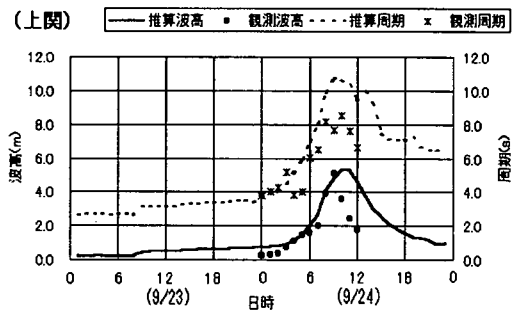


図-12 波浪の推算結果 (上関)

② 波の推算

現在、提案されているスペクトル法による波浪推算モデルは数種類ある。今回用いた方法は、気象庁の波浪予報業務や港湾施設の設計波算定に長年の利用実績のある磯崎・宇治によるMRI (Meteorological Research Institute) 法⁹⁾を用いた。

C) 推算結果

各ケースにより求められた、風速と風向の平面分布を図-10に示す。台風の原因が萩田や宇部沖を通過しているのが再現でき、陸上地形の影響を受け、東部の佐田岬 (愛媛) 方面から国東半島 (大分) を

回り込み周防灘奥部の宇部、小野田方面に向けた強い風場の形成が推算されている。

前出の図-5で示した萩田における波高、周期の時系列変化 (観測値) について、推算値との比較を図-11に示す。また、上関での比較を図-12に示す。両地点では波浪観測が行われており、観測値と推算値が比較できる。台風通過時刻である08:00頃のピーク値に注目してみると、萩田では周期の再現性は概ね良好と言えるが、波高は観測値 (3.5m) に対し推算値 (2.18m) が大きく下回る結果となった。また、上関では、周期は観測値 (8.5s) に対し推算値 (10.8s) が

表-7 荇田と上関における観測値と計算値

	荇田	上関
観測波高	3.46m	5.15m
計算波高	2.18m	5.33m
(観測値/計算値)	1.58	0.966(≒1.00)

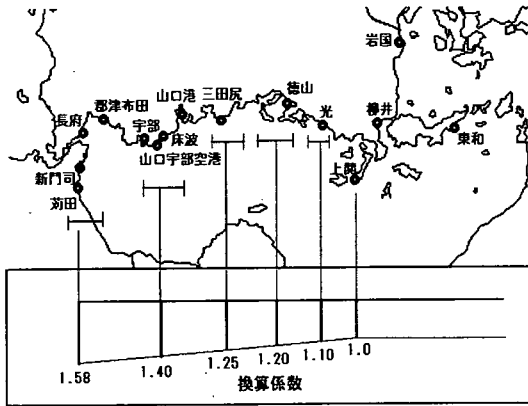


図-13 推算波高に対する換算係数

上回っているが、波高は良好な再現が得られた。T9918号来襲による被災時の波浪の再現性をできるだけ高めるために、以下で述べる方法により推算波高の値を補正した。

d) 波浪場の再現に当たっての調整

前述のとおり、波高について、上関では良好な再現を示しているが、荇田では計算値が観測値に対し低く見積もられている。これは、荇田付近をT9918号の台風中心が通過したことにより、この周辺において急激な風向の変化および一時的に急激な風速の低下が生じ、このような気象条件の急激な変化により、海上風の計算値が実際より低くなったと考えられる。このため、T9918号の波浪観測値のある荇田と上関での推算波高と観測値の比率をそれぞれ求め、周防灘の沿岸波高計算に当たっては、この間を便宜上直線補間により他地域の計算値に対する換算係数を定めた。荇田および上関の換算係数を表-7に示す。各地の換算係数を図-13に示す。

周防灘における波高分布の推算結果を図-14に示す。これより、佐田岬を境にして5~6mの波高が3~4mと減少しており、佐田岬が周防灘にとって有効な防波堤として機能を発揮していることがわかる。また、波高は徳山沖で4.1~4.6m、東和沖で3.8~4.1mとなっていることから、図-10で示される周防灘奥部に向けた風の影響を受け、再度発達していることがわかる。さらに、宇部沖で2.2~2.8mと低下していること

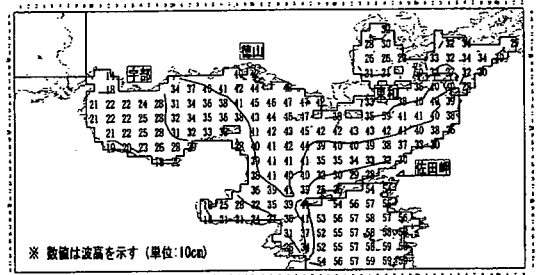


図-14 波高分布の推定

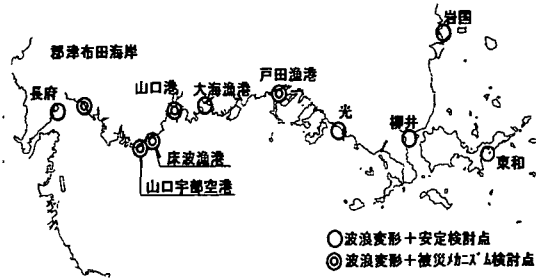


図-15 浅海域の波浪計算地点

から、湾奥に向け減衰していることがわかる。

(3) 浅海域の波浪の推定

a) 計算地点

浅海域波浪の計算地点は、図-15に示すT9918号による被災の著しかった郡津布田海岸、山口宇部空港、床波漁港、山口港、戸田漁港の5地点を含めた山口県内の11地点である。

b) 計算方法

波浪変形を推算する数値計算法としてエネルギー平衡方程式を用いた。解析の詳細は田淵ら⁹⁾を参照されたい。

潮位は、各地点でT9918号来襲時の最大潮位を用い、沖波波浪は各地点の沖波推算値のうち最大のもの、または波向は海岸施設の法線に対して直角方向に進入する波を用いた。浅海波の波浪計算に採用した沖波の推算結果を表-8に示す。

方向集中度パラメーターについて、入射波を沖波として算定すると各地点とも20~40の範囲となっており、合田・鈴木の提案値¹⁰⁾を考慮して25を用いた。

計算は各地点とも入射波向に合わせ、2つの計算領域を接続して設定し、沖側領域の格子間隔を100m、岸側領域の格子間隔を50mとした。

表-8 各地点の沖波の推算結果

	波高 (m)	周期 (s)	波向
長府	2.56	6.03	ESE
郡津布田	2.40	5.84	SE
山口宇部空港	3.42	7.96	SW
床波漁港	3.78	8.10	SE
山口港	4.75	8.54	S
大海漁港	5.15	9.20	SSE
戸田漁港	3.67	8.32	WSW
光	4.64	9.94	S
柳井	3.35	8.79	SSW
東和	3.90	8.55	SSW
岩国	2.73	7.67	S

表-9 各地の換算沖波の推算結果

地区	潮位 (m)	波向	沖波波高 H ₀ (m)	沖波周期 T ₀ (s)	換算沖波波高 H ₀ ' (m)	有義波高 H _{1/3} (m)	最大波高 H _{max} (m)	入射波向 α (°)
長府	+6.06	ESE	2.56	6.03	2.49	2.00	2.74	8
郡津布田海岸	+6.13	SE	2.40	5.84	1.08	0.99	1.78	40
山口宇部空港	+5.58	SW	3.42	7.96	3.95	3.64	5.60	42
床波漁港	+5.51	SE	3.78	8.10	4.07	1.26	2.00	29
山口港	+5.82	S	4.75	8.54	1.02	1.15	2.07	17
大海漁港	+5.28	SSE	5.15	9.20	2.44	2.44	3.70	44
戸田漁港	+5.08	WSW	3.67	8.32	1.63	1.59	2.86	5
光	+4.49	S	4.64	9.94	3.35	2.80	3.80	19
柳井	+3.74	SSW	3.35	8.79	1.45	1.54	2.77	5
東和	+3.62	SSW	3.90	8.55	1.37	1.72	2.61	3
岩国	+4.45	S	2.73	7.67	1.55	1.54	2.77	50

表-10 限界越波量

種別	被覆工	越波流量(m ³ /m/s)
護岸	背後舗装済み	0.2
	背後舗装なし	0.05
堤防	コンクリート三面巻き	0.05
	天端舗装・裏法未施工	0.02
	天端舗装なし	0.005以下

表-11 各地点の施設の安定検討

場所	施設タイプ	大きな被災の危険	躯体の覆ひ・転倒			越波量 (m ³ /m/s)	打上げ高さ (m)	消波ブロックの所収量 (t)
			波圧	滑動の安全率	転倒の安全率			
長府	護岸(直立型)	無	正圧	927.48	286.77	0.002	—	—
			負圧	1.90	5.03	—	—	—
郡津布田海岸	護岸(直立型)	有	正圧	9.10	2.33	0.037	—	—
			負圧	0.64	0.89	—	—	—
山口宇部空港	護岸(直立型)	有	正圧(波のみ)	0.14	0.16	0.280	—	—
			正圧(波のみ)	1.74	0.35	—	—	—
床波漁港	護岸(直立型)	有	正圧(波のみ)	0.33	0.00	0.910	—	—
			正圧(波のみ)	161.15	33.13	—	—	—
山口港	護岸(直立型)	有	正圧(波のみ)	2.66	4.09	—	—	—
			負圧(波のみ)	1.72	3.22	—	—	—
大海漁港	護岸(直立型)	無	正圧	13.12	6.94	0.001	—	—
			負圧	0.71	2.02	—	—	—
戸田漁港	防波堤	有	正圧	6.58	4.58	0.170	—	—
			負圧	1.55	4.65	—	—	—
光	護岸(緩傾斜型)	無	正圧(波のみ)	1.08	0.81	—	1.05	—
			正圧(全波)	1.13	0.89	—	(<天端高2.52)	—
柳井	護岸(直立型)	無	正圧	10.76	5.41	0.003	—	—
			負圧	51.95	19.65	—	—	—
東和	護岸(緩傾斜型)	無	—	—	—	1.08	—	
岩国	護岸(消波型)	無	—	—	—	0	1.49	

※ 網掛け箇所は、計算上不安定と判断された箇所
 ※ 波圧: 正圧は波の峰、負圧は波の谷での波圧

c) 計算結果

エネルギー平衡方程式¹¹⁾で求めた堤前波高を浅水係数で除して、越波計算に用いる換算沖波波高を求めた。各地点における堤前波高の計算結果および換算沖波の計算結果を表-9に示す。

5. 越波と施設被害

T9918号による被災の著しかった海岸施設を選定し、前節までに求めた台風時の高潮偏差、波浪条件を基に現況断面の越波状況や躯体の安定計算などを実施し、現行の設計方法により施設の被災メカニズムを検討した。

(1) 検討方法

a) 検討条件

前述の浅海域の波浪変形計算結果(表-9)により求められた各点での堤前波浪等を検討条件とした。

b) 越波量, 打上げ高

直立護岸, 消波護岸については越波量, 緩傾斜護岸については打上げ高を指標として安定性を検討した。越波量は高田の越波量公式¹²⁾により, また, 打上げ高は高田の提案式¹³⁾により計算した。

越波による被災限界は, 既往の被災事例からまと

められた表-10に示す値を限界越波量¹⁴⁾として比較検討した。また, 打上げ高については, 打上げ後の水面高さと護岸天端高を比較した。

c) 波力の算定

波力は, 作用する波の形態によって重複波力, 碎波力, 碎波後の波による波力に分類されるが, その変化は連続的と考えられる。ここでは, これらの区別なく連続的に波力を算定できる合田式¹⁵⁾を用いた。浅海域における波の屈折・回折や碎波の影響については, 「港湾の構造物の技術上の基準・同解説」¹⁶⁾に基づき算定した。

(2) 計算結果

11地点における, 海岸施設についての検討結果を表-11に示す。被災原因の究明に関しては, 以下の事項について, 該当の有無をポイントに検討した。

①滑動・転倒の安全率が1.2を下回る箇所

②許容越波量0.2m³/m/sを上回る箇所

③波の打ち上げ高が護岸天端高を越える箇所

④消波ブロック重量が必要重量を下回る箇所

この中で, 直立型の護岸では, 波圧による滑動・転倒の検討においては, 正圧時(波の峰)と負圧時(波の谷)について検討した。また, 緩傾斜護岸で

は、波の打ち上げ高さ、消波護岸についてはブロック重量について検討した。

この内、大きな被災のなかった長府、大海漁港、光、柳井、東和、岩国の6地点は、T9918号による波浪に対しては、この計算上、安定が保たれていたと判断される。

被災の程度が著しかった郡津布田海岸、山口宇部空港、床波漁港、山口港、戸田漁港については、以下のような計算結果となった。

①郡津布田海岸

護岸が海側に転倒していることから、波浪による負圧作用（波の谷）を考慮し、転倒部護岸に作用する波圧について、波の正圧時（波の峰）と負圧時（波の谷）で検討した。

この結果、波の負圧時に、護岸が滑動、転倒に対し不安定となっていた。

②山口宇部空港

護岸が陸側に転倒しており、転倒部の護岸が被災時の潮位より高い位置にあることから、波の正圧時について検討した。また、越波も激しかったことが報告されていることから、越波による背後の裏込め土砂の流出を考慮して裏込めがない場合も検討した。

この結果、越波量は $0.2\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ を越えており、裏込めがある場合には転倒に対し不安定となり、裏込めがない場合には滑動と転倒に対し不安定となっていた。

③床波

激しい越波が報告されていることから、越波による裏込め土砂の流失を想定し、波の正圧時および負圧時における、裏込めのある場合とない場合について検討した。

この結果、越波量は $0.2\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ を越えており、裏込めがない場合は滑動および転倒に対し不安定となっていた。

④山口港

波の正圧時および負圧時について検討した結果、波の負圧時に、護岸が滑動に対し不安定となっていた。

⑤戸田漁港

波の正圧時について、計算潮位を被災時の潮位とした場合と大潮平均満潮位とした場合について検討した。

この結果、いずれの場合も、滑動と転倒に対し不安定となっていた。

本検討に当たっては、早期に災害復旧を行う必要があったため、特に異常潮位に着目して従来の安定

計算で用いられている波圧や越波量を中心に検討を行った。このほか、T9918号による被災に関して、高橋ら¹⁷⁾は衝撃砕波および護岸の吸出作用の影響についても報告している。

(3) 各施設の被災メカニズム

被災した郡津布田海岸、山口宇部空港滑走路部、床波漁港海岸、山口港海岸の各護岸と、戸田漁港の沖防波堤について、その被災メカニズムを現行の設計方法により詳細に検討した。

a) 護岸タイプの被災（郡津布田海岸護岸、山口宇部空港滑走路護岸、床波漁港海岸部護岸、山口港海岸護岸）

①被災状況

護岸の標準断面、および倒壊した上部工の状況は写真-1～4および図-16～19に示すとおりである。

各施設の被災状況は、次のとおりである。

（郡津布田海岸護岸）

- ・堤体コンクリートの打継目付近において、前面に倒壊した。
- ・舗装面を除き、背面側の裏込土が流出した。

（山口宇部空港滑走路護岸）

- ・上部工は、その大半が打継目である+6.0mの位置で背面側へ倒壊した。
- ・目視観測により激しい越波が報告されており、水叩きは、その大半が洗掘された状態であった。

（床波漁港海岸護岸）

- ・捨石上の堤体が背面側に倒壊した。
- ・背面側の裏込土が流出した。

（山口港海岸護岸）

- ・堤防の小段部を境に上部張コンクリート部が前面に倒壊した。
- ・小段より上部の堤体土砂が流出した。

②検討結果

倒壊メカニズムとして、以下のようなことが考えられる。

（郡津布田海岸護岸）

- ・異常潮位により、波の負圧に対して壁体の安定性が低下し、倒壊した。
- ・先に堤体が倒壊した後、舗装面下部の裏込土が流出した。

（山口宇部空港滑走路護岸）

- ・異常潮位による想定を上回る越波により、パラペット背後の舗装・裏込土が洗掘された。
- ・裏込土の流出で、壁体の安定性が低下した。
- ・想定を上回った波力により、壁体の打設面より上部が倒壊した。

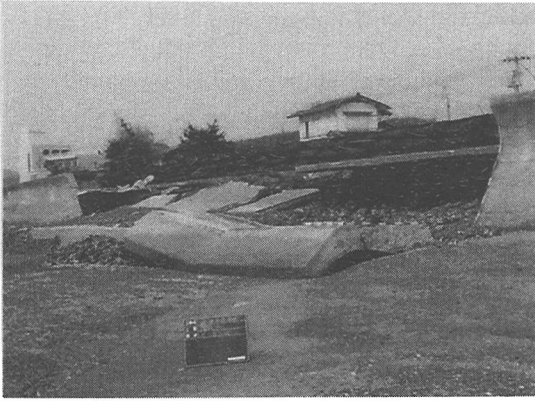


写真-1 郡津布田海岸

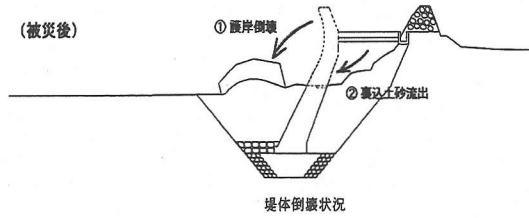
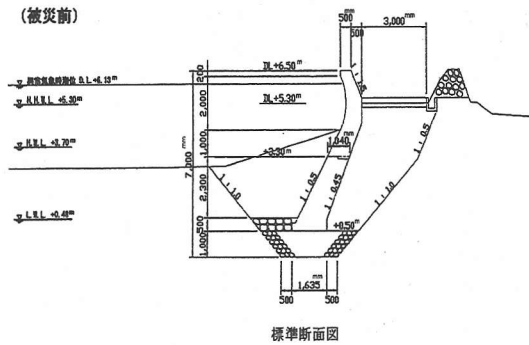


図-16 郡津布田海岸護岸



写真-2 山口宇部空港

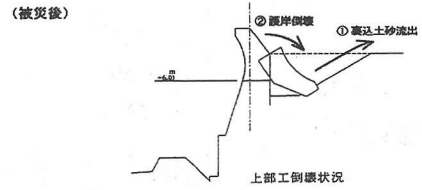
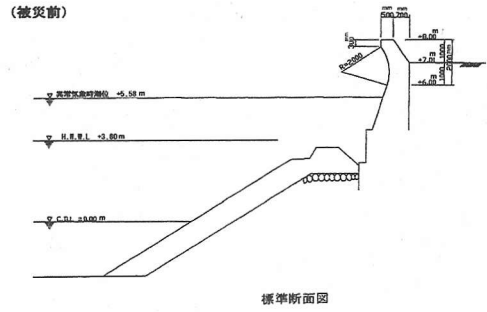


図-17 山口宇部空港滑走路護岸



写真-3 床波漁港

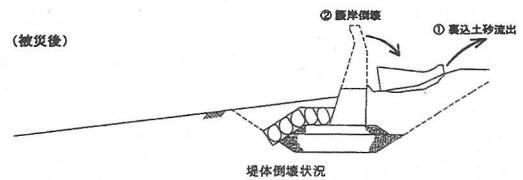
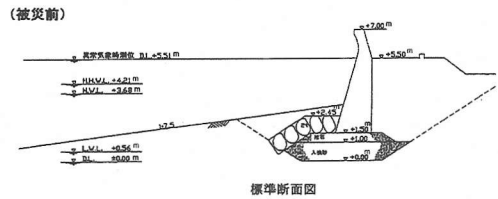


図-18 床波漁港 海岸護岸



写真-4 山口港

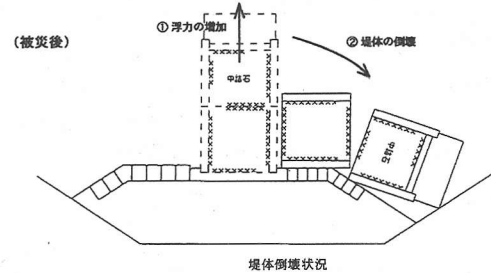
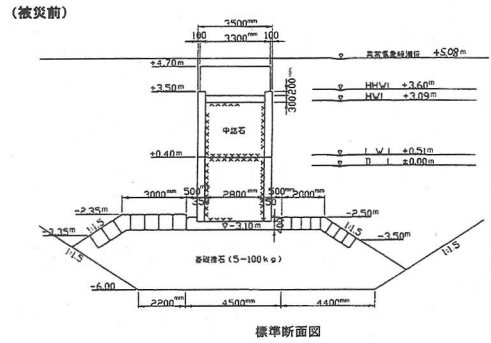


図-20 戸田漁港 沖防波堤

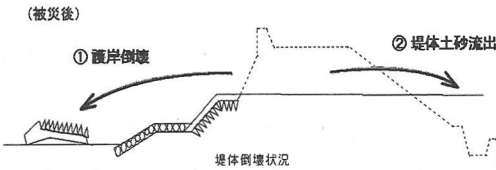
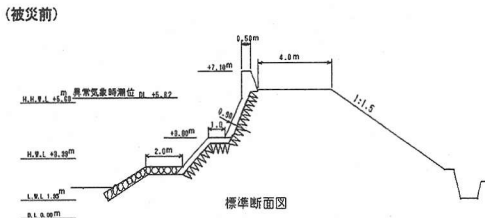


図-19 山口港海岸護岸

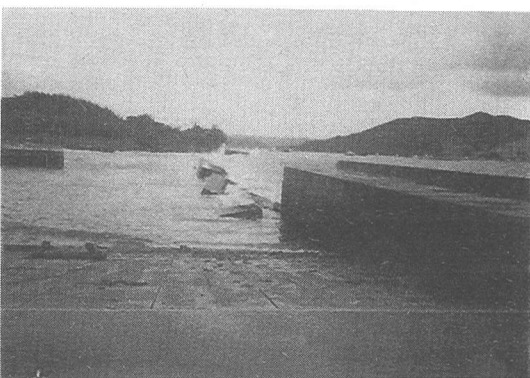


写真-5 戸田漁港 (防波堤)

(床波漁港海岸護岸)

- ・異常潮位による想定を大幅に上回った越波によりパラペット背後の舗装・裏込土が洗掘された。
- ・裏込土の流出で、壁体の安定性が低下した。
- ・想定を上回った波力により、壁体の打設面より上部が倒壊した。

(山口港海岸護岸)

- ・異常潮位により、老朽化した壁体が負圧に対して安定性を失い、倒壊した。
- ・壁体が倒壊した後、堤体土砂が流出した。

b) 防波堤タイプの被災 (戸田漁港沖防波堤)

①倒壊状況

倒壊した防波堤の上部工の状況および標準断面は写真-5および図-20に示すとおりである。

倒壊状況は、次のとおりである。

- ・堤体は上部工および中詰石の入ったブロックで構成されており、基部を残してすべて倒壊した。
- ・上部工とブロックは一体化した状態で倒壊した。

②検討結果

被災メカニズムとして、以下のようなことが考えられる。

- ・異常潮位に伴う堤体浮力の増大による壁体の安定性が低下した。
- ・想定を上回った波力が、壁体に作用し被災した。

6. まとめ

T9918号による高潮・波浪の推算の結果、周防灘については、ほぼ観測値を再現することができた。この推算結果を用いて観測結果のない山口県内11箇所の海岸施設について現行の設計方法にもとづいた安定解析を行ったところ、被災状況を説明することができた。

このことから、現行の設計方法は一次的には海岸施設の設計方法として有意であると考えられ、今回の防護基準の策定に有用であることが示された。

検討の結果得られた主な項目を以下に列挙する。

(1) T9918号による高潮および波浪現象

a) 潮位偏差

周防灘では西部の湾奥部に向かい潮位偏差量が増加傾向にあり、山口県の徳山以西のほとんどの海岸と福岡県の苅田から門司の海岸で最大潮位偏差が2mを越えていた。

b) 波浪

佐田岬を境にして波高が低下しており、佐田岬は周防灘にとって有効な防波堤としての機能を発揮している。周防灘に侵入した波浪は、周防灘奥部に向けた風の影響を受け、徳山沖から上関沖に向けて一端増大した後、湾奥の宇部沖に向け減衰している。

(2) T9918号による高潮被害の特徴

a) 被害の特徴

T9918号は、山口県下に甚大な被害をもたらした。特徴としては、大潮期の満潮時刻と台風通過時刻が重なり潮位が上昇し、これによる高波が県内各地をおそったものと考えられる。また、沿岸部での一般家屋等の被害や、港湾、漁港施設、山口宇部空港等の公共施設での被害が多くを占めた。

b) 被災原因

高潮推算および波浪推算により各地点での有義波高、周期を求め、被災箇所の護岸等の倒壊メカニズムについて検討を行った。これによると、設計時の想定を越える潮位および波浪・越波により壁体背後の土砂が流出し、支えを失った構造物が不安定となり倒壊につながったものと考えられる。

また、異常潮位による浮力の増加による堤体の安定低下や、引き波による負の波圧が鉄筋等で一体化されていない護岸や脆弱化した老朽護岸の継ぎ目等

に作用したことも構造物の倒壊につながった要因の一つとして考えられる。

参考文献

- 1) Myers, Vance A. and Malkin, W.: Some properties of hurricane wind fields as deduced from trajectories, U.S. Weather Bureau, National Hurricane Research, Project, Rept. 49, 1961.
- 2) 後藤智明, 柴木秀之: 陸上地形の影響を考慮した海上風推算, 港湾技術研究報告, Vol. 32, pp. 71-73, 1993.
- 3) 河合弘泰, 平石哲也: 台風9918号による高潮の現地調査と追算, No. 971, pp. 43, 2000.
- 4) 河合弘泰, 平石哲也, 佐藤孝夫, 大川郁夫: 台風9918号による九州沿岸と瀬戸内海西部の高潮の特徴, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 321-325, 2000.
- 5) 柴木秀之, 後藤智明: 内湾海上風の地形依存性について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 141-145, 1992.
- 6) 柴木秀之, 後藤智明: 陸上地形の影響を考慮した内湾海上風の推算モデル, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 166-170, 1993.
- 7) 山下隆男, 別宮功, Watson, Gary: 陸上地形および表面粗度を考慮した高潮の数値計算, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 266-270, 1996.
- 8) Isozaki, I. and Uji, T.: Numerical prediction of ocean wind waves, *Papers in Meteor. and Geophys.*, Vol. 24, pp. 207-231, 1973.
- 9) 田淵郁男, 佐々木芳寛, 佐藤友紀, 平石哲也, 永井紀彦: 水深DBを活用した港外波浪変形計算・港内静穏度計算システムの開発, 港湾技術資料, No. 888, pp. 29, 1997.
- 10~16) 国土交通省(旧運輸省) 制定「港湾の構造物の技術上の基準・同解説」: 1999.
10) - pp. 81.
11) - pp. 85-87.
12) - pp. 119-125.
13) - pp. 115-119.
14) - pp. 124.
15) - pp. 139-144.
16) - pp. 97-115.
- 17) 高橋重雄, 大木泰憲, 下迫健一郎, 諫山貞雄, 石貫国朗: 防潮護岸の高潮時の衝撃砕波力による被災とその再現実験, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 801-805, 2000.

(2002. 2. 12 受付)

CHARACTERISTICS OF STORM SURGE DAMAGES CAUSED BY TYPHOON 9918 IN SUO-NADA SEA

Tomihide MITSUNAGA, Tetsuya HIRAISHI, Yoshihiro UTSUNOMIYA,
Masahiro MIHARA, Ikuo OKAWA and Koji NAKAGAWA

The Typhoon No.18 in 1999 caused serious damages along the Suo-nada sea in Yamaguchi prefecture. In the present paper, the histories of tidal levels and sea wave induced by the typhoon were simulated with the Myers and MASCON model respectively. The wave pressures on coastal dikes at eleven representative points were deduced according to the tidal levels and wave heights simulated for instant of damage. The mechanism of sliding, overturning and cutting of sea walls and coastal dikes was studied on the basis of analyzing variation of tidal levels and wave heights.