

高潮氾濫災害の被災要因とその危険度評価

山田 文彦*・滝川 清**・壺岐 智成***

1. はじめに

秋の大潮であった平成 11 年 9 月 24 日の早朝 4 時ごろ熊本県牛深市に上陸した台風 9918 号は、観測史上最大の瞬間風速 66.2 m/s という暴風を伴いながら有明海を北上した。さらに、熊本県では台風接近時刻が上げ潮と重なったため、八代海湾奥の不知火町松合地区で高潮氾濫が発生し、12 名もの尊い人命が奪われるなど過去最悪の被害を被った(滝川ら, 2000)。現在、松合地区の復旧対策としては、高潮氾濫の被災要因の解明とともに、同地区の特徴を活かした災害対策のあり方が検討されている。そこで、本研究の目的は、松合地区における高潮氾濫災害の被災要因を同地区の歴史的・社会的背景をも含めて調査するとともに、災害対策工法の有効性を危険度評価という観点から検討を加えるものである。

2. 現地聞き取り調査および文献調査

災害直後の現地調査では、氾濫痕跡高や海水進入経路を調査した。その結果、3 つの船溜開口部より進入した大量の海水が短時間のうちに堤防内に越流し発生した強大な流体力が、今回の甚大な被害をもたらした直接的な要因であることを明らかにした(山田ら, 2000)。また、この調査では、松合地区において大規模な被害を受けた地域(図-1)は、江戸時代干拓された屋敷新地(写真-1)とほぼ一致することも、明らかになった。

そこで、対策工法を検討する上では、どのような目的でこの干拓地が造成されたのか、また、満潮時には海面よりも低くなる土地に多くの人々が住むようになった経緯などの歴史的・社会的背景を明らかにすることも重要であると考え、同地区の土地利用変遷や災害史について現地での聞き取り調査および文献調査(例えば、不知火町史, 1972; 不知火町郷土史研究会, 2000 など)を行った。調査結果によると、屋敷新地は 1854 年の山須地区の大火(写真-1 の右側の黒色部)で家屋を失った人たちの住宅用の土地として 1855 年に干拓されたものである。し

かし、干拓地内は現在の県道から国道に向けて約 3% 程度の勾配で地盤高が低くなっているため、当初住宅地として利用されたのは、比較的地盤の高い県道沿いのみであり、その他の場所は仲西船溜を中心に、西側が塩田、東側は農地として利用されていた。次に、高潮の発生頻度を調べてみると、有明海・八代海沿岸では 10 年に 1 ～ 2 回の頻度で発生しているものの、松合地区が高潮により大規模な被害を受けたのは約 100 年前の 1874 年(明治 7 年)まで遡る。このため住民の高潮災害に対する意識はしだいに薄れていったようである。さらに、昭和 46 年に沖合堤防との併用施設である現在の国道 266 号が供用されると、堤内地は安全かのように受けとめられ、それまで塩田や農地として利用されていた地盤の低い場所にまで民家が建設されるようになり、被災前にはかなりの住宅が国道背後付近まで存在していた。

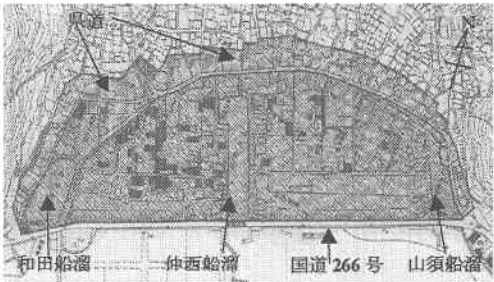


図-1 松合地区の浸水範囲(熊本県漁港課)

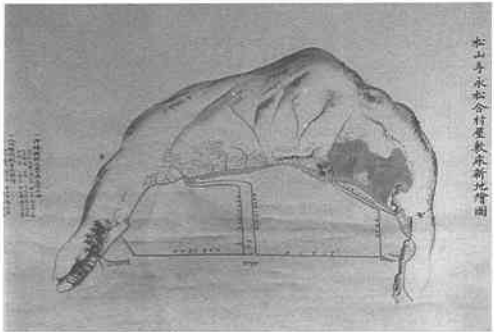


写真-1 屋敷新地(松合郷土資料館所蔵)

* 正 会 員 博(工) 熊本大学 助手 工学部環境システム工学科
** 正 会 員 工 博 熊本大学 教授 沿岸域環境科学教育研究センター
*** 学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科前期課程

また、平成3年の台風9119号では、台風接近が干潮時であったものの、仲西船溜の護岸天端まで水位が上昇したとの報告もあるが、特別な対策は講じられていない。

以上のことから、今回の被害を大きくした要因としては、氾濫水の持つ強大な流体力という自然要因のみではなく、高潮に対する危険意識の低下、ならびに堤内地において防災上適正な土地利用が必ずしも行われてこなかったという社会的要因もその1つとして考え、今後の高潮災害対策への教訓として重要な事項と考えられる。

3. 高潮災害対策工法の有効性の検討

ここでは、松合地区高潮対策検討委員会（委員長：滝川清）で検討されている対策工法（堤内地の地盤嵩上・国道前面の防波堤形状の変更）の有効性を危険度評価という観点から数値解析を用いて調べた。なお、危険度評価の指標としては多種多様なものが考えられるが、本研究では、a) 家屋倒壊に係る氾濫水の流体力（密度×浸水深×速度の自乗）と、b) 避難時間と密接に係る氾濫開始後水深50 cmまでの浸水するのに要する経過時間との2つの指標を用いて検討を行った。

図-2の座標系に従い、用いた基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q(x, y, t) \cdot h \quad \cdots (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (UM)}{\partial x} + \frac{\partial (VM)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial (h+e_b)}{\partial x} - \frac{gn^2 U \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{1/3}} \\ + \nu_r \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} F_x \quad \cdots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (UN)}{\partial x} + \frac{\partial (VN)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial (h+e_b)}{\partial y} - \frac{gn^2 V \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{1/3}} \\ + \nu_r \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho} F_y \quad \cdots (3) \end{aligned}$$

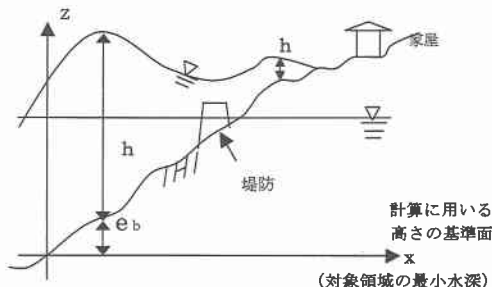


図-2 座標系（y軸は奥行き方向）

ここに、 h は水深、 q は船溜開口部からの海水流入量（後述の計算ケース①～④のみ考慮、それ以外は0）、 U 、 V は x 、 y 方向の断面平均流速、 M 、 N は x 、 y 方向の流量フラックス、 e_b は基準面から地盤までの高さ、 ρ は流体の密度、 g は重力加速度、 n はマニングの粗度係数、 ν_r は渦動粘性係数、 F_x 、 F_y は家屋による流体抵抗を表す。

3.1 計算領域と計算ケース

a) 堤内地の地盤嵩上の有効性

計算領域は図-3に示すように、沿岸方向700 m、岸沖方向（陸上部のみ）300 mであり、計算格子間隔を5 mとし、家屋一軒ごとを認識させ、建物、道路などの地勢条件をより正確に再現した。また、図中の矢印は海水流入点（3ヶ所）、国道背後の黒色部分は堤内に現存する潮溜（2ヶ所）を示す。計算ケースは表-1に示すとおり、ケース①：現況、ケース②、③：地盤嵩上のみ、ケース④：地盤嵩上と現存の潮溜を残す、の合計4ケースについて計算を行った。なお、ケース②で地盤嵩上高を一律D.L.+5.3 mに設定したのは、今回の高潮氾濫による被害がこの高さ以下の土地に集中していたためである。また、ケース③、④のD.L.+5.0 mとは、堤内に現存し曳家工法が不可能な松合食品工場等の周辺状況とも照らし合わせ、委員会において現実的と判断された地盤嵩上高である。なお、境界条件・パラメーター値の詳細等は、山田ら（2000）を参照されたい。

b) 国道前面の防波堤形状変更の有効性

ここでは、国道前面の防波堤形状の変更が浸水時間の遅延などに対して、どの程度有効であるかを検討する。計算領域は図-4に示すように、沿岸方向に700 m、岸沖方向に700 mである。計算ケースは、現況の防波堤形状（ケース⑤）と和田・仲西船溜への直接的な流入を緩和する目的で両船溜を防波堤内に取り込む場合（黒色部分ケース⑥）の2ケースとした。境界条件としては、図中のA-B上で強制潮位を与えるが、この値は別途行った高潮計算（滝川・田淵，2000）より得られた松合沖合での計算潮位を使用した。図-5は松合沖合における平成11

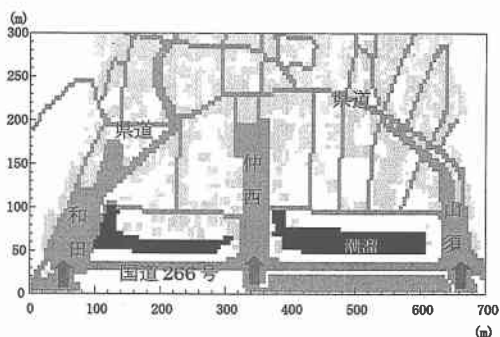
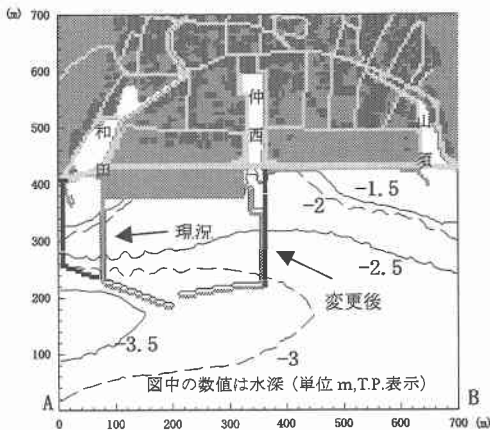


図-3 計算領域（ケース①～④）

表一 地盤嵩上の計算ケース

ケース	地盤嵩上高および嵩上範囲	現存の潮溜
①	現況（嵩上なし）	有
②	現地地盤高 (D.L.+5.3 m) 以下の地域を一律 D.L.+5.3 m に嵩上	残さない
③	現地地盤高 (D.L.+5.0 m) 以下の地域を一律 D.L.+5.0 m に嵩上	残さない
④	現地地盤高 (D.L.+5.0 m) 以下の地域を一律 D.L.+5.0 m に嵩上	残す



図一四 計算領域 (ケース⑤～⑥)

年9月23日午後12時以降の潮位を再現した計算結果である。現地調査では松合での最大潮位は T.P.+4.5 m であるが、計算でも T.P.+4.31 m の潮位を再現しており、十分な計算精度を有している。なお、今回の氾濫計算では護岸天端高 (T.P.+3.2 m) とほぼ等しい午前5時45分の潮位 (T.P.+3.04 m) を海域全体の初期値として与え、静止状態から60分間の計算を行った。また、今回の計算では左右の境界での海水の出入りは考慮していない。

4. 結果と考察

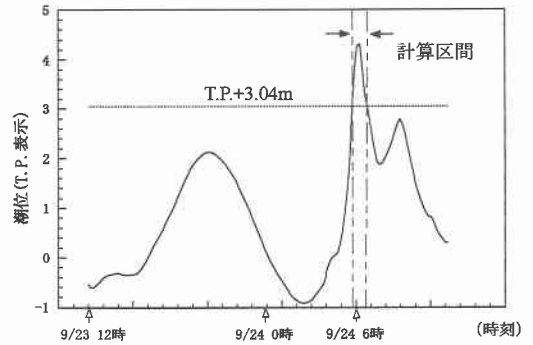
4.1 地盤嵩上の有効性の検討結果

a) 最大流体力の空間分布特性

図一六は、表一の計算ケースを用いて計算した最大流体力の空間分布とその発生時刻を示したものである。

現況のケース①では、最大流体力は氾濫開始12分後に発生し、堤内の広い範囲で 5 kN/m を超える流体力が発生し、局所的には 80 kN/m を超えている。羽鳥 (1984) によると、津波災害では流体力が 5 kN/m を超えると木造住宅の被災が生じると報告されており、今回の計算結果は堤内の被災状況をよく説明する結果となっている。

一方、潮溜も含めて一律な地盤嵩上を行ったケース② (D.L.+5.3 m)、ケース③ (D.L.+5.0 m) を現況と比較



図一五 計算潮位の時間変化 (松合沖合)

すると、最大流体力が発生する時刻は8分ほど遅くなるとともに、最大流体力も $1/10 \sim 1/20$ 程度まで低減できることがわかり、流体力の発生範囲は広がるものの一律な地盤嵩上が最大流体力の低減に関して非常に有効であることが確認できた。また、ケース②と③を比較しても顕著な差はみられず、流体力に関して、地盤嵩上高は周辺状況を考慮した D.L.+5.0 m で妥当であることもわかった。

次に、現存の潮溜を残したまま他の部分を D.L.+5.0 m まで地盤嵩上するケース④では、最大流体力は氾濫開始9分後に発生し、その大きさは現況よりも大きい傾向にある。しかしながら、その発生場所は、潮溜に集中しており住宅地域における流体力およびその発生範囲は現況よりも小さくなっている。この理由としては、紙面の都合で図面は省略するが、氾濫後堤内に越流した海水は一旦潮溜に流入し、流速を減じてから住宅地域へと広がっていくためである。このことから、松合地区で地盤嵩上を行う場合は、潮溜などの水受け部を併用することは流体力の低減に有効であることがわかった。

b) 浸水経過時間の空間分布特性

図一七は、堤内地の各点で氾濫開始後の浸水深さが 50 cm に達するまでの経過時間を表示したものであり、図は経過時間が1～4分、4～7分、7～10分、10～13分、13分以上ごとに色分けしている。まず、現況では氾濫後10分程度で堤内全域がほぼ水深 50 cm まで浸水しており、聞き取り調査の結果とよく一致する結果となっている。

次に、現況のケース①と堤内を一律に地盤嵩上げるケース②、③とを比較すると、地盤嵩上後は現況より浸水経過時間は短くなり、氾濫開始7分までには堤内地のほとんどの部分が 50 cm まで浸水していることがわかる。また、浸水区域も現況より広がっているのがわかる。なお、浸水経過時間でも最大流体力と同様にケース②、③の間には顕著な差は見られない。

しかしながら、現存の潮溜を残して地盤嵩上するケー

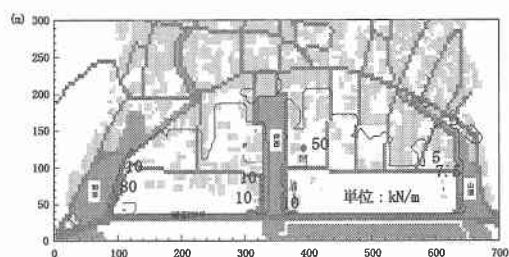
ス④では、越流後一旦氾濫水は潮溜内に流入するため、住宅域での浸水経過時間を遅延することができ、現況と比較すると、場所によって2～4分程度浸水経過時間を遅らせることができる。また、浸水範囲も潮溜を残さないケース②、③に比較してより範囲を狭くすることが可能であり、ほぼ現況の浸水範囲と同じである。これらの結果より、松合地区のような低平地で地盤高上を行う場合は、潮溜を併用することで流体力の低減のみでなく、浸水時間の遅延も可能となり、有効な対策工法となりうることを確認できた。

4.2 防波堤形状変更の有効性の検討

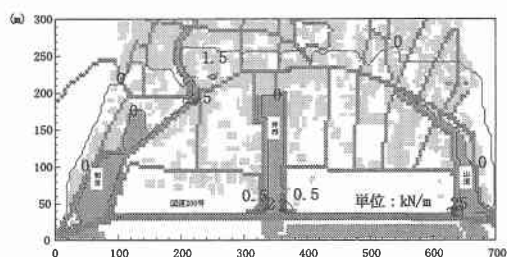
防波堤の形状を変更した場合と現況との痕跡高の計算

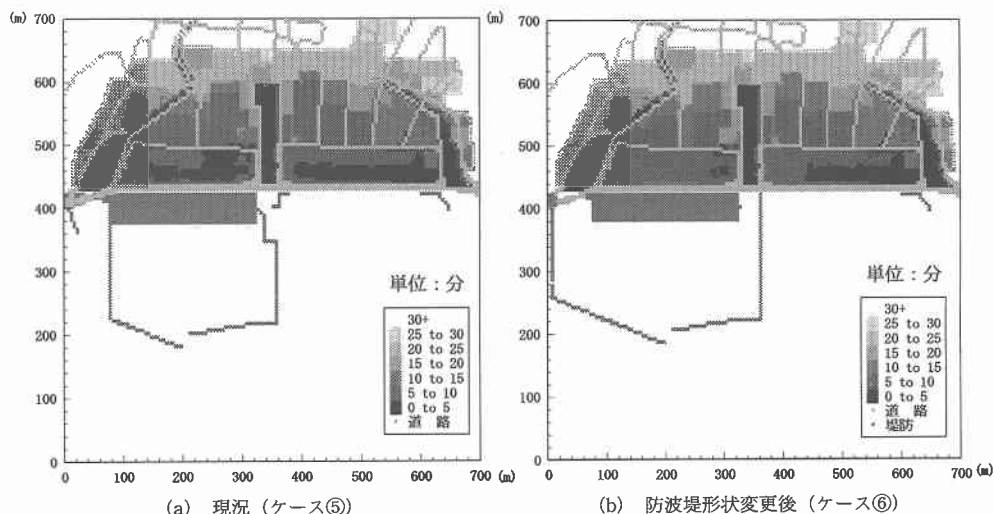
値を比較したところ、両者には顕著な差は見られず、痕跡高に対しては防波堤形状の影響は小さいことがわかった。しかしながら、計算結果は全体的に実測値よりも70 cm程度高く、過大評価であった。この理由としては、今回の計算では左右の境界での海水の出入りを考慮していないためであり、計算精度を向上するためには、左右の境界条件の検討を行う必要がある。しかし、防波堤形状と氾濫状況との関係性を調べるだけであれば、本手法でも十分と考えられ、今回は本手法を用いて検討を行った。

図-8は、現況の防波堤形状(ケース⑤)と変更後(ケー



ケース① 現況 (氾濫開始12分後)





図—8 浸水深 50 cm までの経過時間の空間分布

ス⑥)の氾濫後浸水深 50 cm までの経過時間を 5 分毎に色を変えて示したものである。両者を比較したところ、形状変更後は、氾濫開始 5 分以内において、潮溜りや船溜り付近で現況に比較して 3 分程度浸水時間を遅延させることができることがわかる。しかし、氾濫開始 5 分以降の浸水時間の分布では、顕著な差は見られない。この結果より、防波堤の形状変更による避難時間遅延の有効性は氾濫開始後 5 分以内の初期段階で顕著であることがわかった。また、最大流体力の空間分布特性に関しても、両者の間には顕著な差は認められなかった。

5. 結 論

本研究では、松合地区における高潮氾濫災害の被災要因を同地区の歴史的・社会的背景をも含めて調査するとともに、災害対策工法の有効性の検討を行った。得られた結論の概略をまとめると以下のとおりである。

1. 今回の被害を大きくした要因としては、氾濫水の持つ強大な流体力という自然要因のみではなく、高潮に対する危険意識の低下、ならびに堤内地において防災上適正な土地利用が必ずしも行われてこなかったという社会的要因もその 1 つとして考えられる。
2. 松合地区のような低平地で地盤嵩上を行う場合は、潮溜りを併用することで流体力の低減のみでなく、浸水時間の遅延も可能となる。また、河川からの氾濫水の一時貯留効果も考えられるため、非常に有効な対策工法となりうることを確認した。

3. 防波堤の形状変更による避難時間遅延の有効性は氾濫開始後 5 分以内の初期段階で顕著であることがわかった。また、形状変更により波の浸入防止効果も向上するものと考えられる。

以上のような結果を踏まえ、今後の対策工法としては避難経路の確保や低平地に高台を作るなどの減災対策を盛り込んで行く必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたって、松合地区高潮対策検討委員会、熊本県河川課、同漁港課、ならびに松合郷土資料館の丸目様には、貴重な資料をご提供していただきました。ここに謝意を申し上げます。最後に、本研究での調査に際して、熊本自然災害研究会から研究補助を受けました。ここに記して、お礼申し上げます。

参 考 文 献

- 不知火町史 (1972): 熊本県不知火町, p. 647.
 不知火町郷土史研究会 (2000): 郷土誌「燎火」, 第 7 号, pp. 1-13.
 滝川 清・田淵幹修・山田文彦・田中健路 (2000): 現地調査から見た高潮の規模と実態, 海と空, 第 764, pp. 179-184.
 滝川 清・田淵幹修 (2000): 台風 9918 号による不知火海の高潮と波浪特性, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 291-295.
 羽鳥徳太郎 (1984): 津波による家屋の被害率, 地震研究所彙報, Vol. 59, pp. 433-439.
 山田文彦・滝川 清・永野良裕 (2000): 台風 9918 号による不知火町松合地区高潮氾濫の災害特性とその数値解析, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 301-305.