

◆報文◆

高潮危険度評価の試み

加藤史訓* 鳥居謙一** 野口賢二*** 人見 寿****

1. はじめに

1999年9月に九州および中国地方に上陸した台風9918号は、八代海や周防灘で高潮を引き起こした。このため、それらの沿岸では広域で氾濫し、中でも八代海に南面する熊本県不知火町松合地区では12名の犠牲者を出した。高潮氾濫により壊滅的な被害が出た1960年前後の伊勢湾台風や第二室戸台風以降、堤防・護岸の整備や警報・避難体制の確立等により高潮災害は減少したが、今回の災害は高潮防災のあり方について再検討を促すものとなった。

松合地区の一部では、堤内地に海水が流入し始めてから5~10分間で軒上まで冠水したため、その時点では既に避難することができない状態であった。今後の高潮防災を検討する上で、このような人的被害が生じた時の浸水過程を明らかにすることは不可欠である。

また、松合地区のように、高潮が氾濫した際に家屋内にいることが危険で、洪水到達時間が避難に要する時間に比べて著しく短い地区については、浸水が生じる前に避難を終えることが望ましい。その実現には、高潮危険度の的確な評価とその周知が必要である。また、高潮危険度を低減するには、避難所や避難路の整備等の地域防災対策が必要であるが、その実施にあたってはその効果を的確に評価することが望ましい。

以上のことを踏まえ、不知火町松合地区における台風9918号による高潮の氾濫過程を数値計算により明らかにするとともに、高潮に対する地域防災の検討に役立つ高潮危険度の評価を試みた。

2. 不知火町松合地区における高潮氾濫の再現

2.1 浸水実態の整理

松合地区には、国道266号との兼用施設である海岸堤防(天端高T.P.+4.8m)が整備されていたが、地区内に3箇所ある船溜の護岸は、波浪の影響を直接受けないので、天端高T.P.+3.2mと低かった。また、船溜周辺の宅地は地盤高がT.P.+1.0m程度とさらに低かった。このため、海岸堤防を越えて海水が流入することはほとんどなかつたものの、9月24日午前5時50分頃より各船溜から海水が侵入し始め、船溜周辺の家屋では氾濫開始から5~10分間で軒上まで冠水した。船溜周辺の護岸は、越流により裏のりが洗掘されたものの、天端はほとんど被害がなかった。最高痕跡高はT.P.+4.5m程度であった。図-1のよう、集落の中を横切る県道付近より概ね海側では床上浸

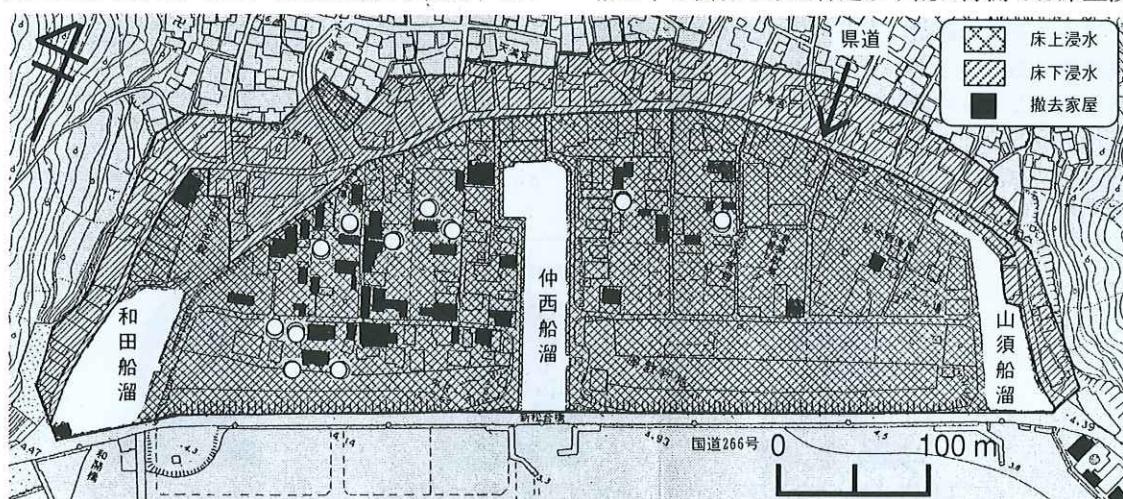


図-1 浸水実績(熊本県漁港課調べ)

水で、それより陸側では床下浸水であった。また、図-1中の○印は人的被害が出た家屋を示すが、仲西船溜より西側の方が東側に比べて人的被害、家屋被害とも大きかった。

2.2 解析方法

氾濫解析は下式を基礎方程式とする平面二次元不定流モデルで行った。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \tau_{bx} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \tau_{by} \quad (3)$$

ここに、 h :水深、 t :時間、 H :水位、 g :重力加速度、 u : x 方向流速、 v : y 方向流速、 M : x 方向流量フラックス、 N : y 方向流量フラックス、 ρ :海水の密度、 τ_{bx} : x 方向の底面摩擦力、 τ_{by} : y 方向の底面摩擦力である。

解析では、潮位から3つの船溜における堤内地への流入量を求めて境界条件として与えた。潮位は、実測データがないので、運輸省港湾技術研究所による八代海の高潮計算で得られた松合地区の潮位計算値を、浸水痕跡と合うように最大潮位が4.3mになるように偏差を小さくしたものを用いた。図-2のように、潮位は、5時50分頃に船溜の護岸を越え、6時20~30分にピークとなり、7時30分頃まで船溜の護岸より高い状態が続いている。なお、潮位のピークは天文潮のピークより1時間前である。

計算格子は10mメッシュとし、氾濫水の先端条件は1mmとした。各メッシュの粗度係数は、水域、道路、裸地については建設省河川砂防技術基準(案)同解説を参考にしてそれぞれ0.025、0.047、0.050、家屋については福岡ら¹⁾を参考にして1.000とした。

2.3 解析結果

図-3は、船溜から海水が流入し始めてから堤内地の各点に洪水が到達するまでの時間を示している。越流開始から10分後には、地区の広い範囲で浸水している。その後も氾濫域は広がり、越流開始から25分後にはほぼ浸水域すべてに洪水は到達している。

図-4は、堤内地の各点における最大浸水深を示している。図-1において床上浸水となっている領域の大部分は、浸水深が3m以上という甚大な浸

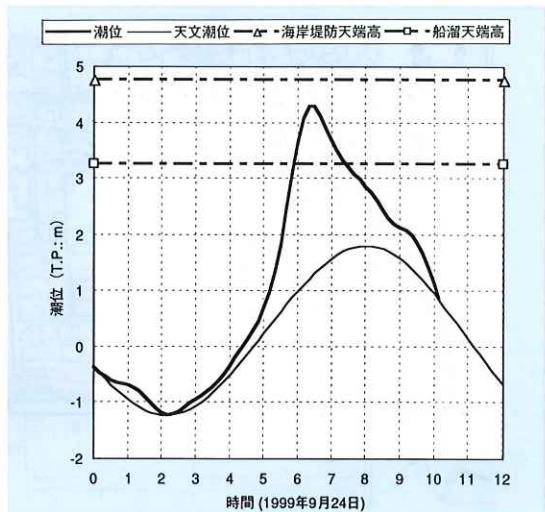


図-2 潮位

水であった。その多くは、越流開始から10分後には床上浸水となり、20分後には浸水深が3m以上になっていた。

このように、高潮時の潮位と比べて地盤高が低い松合地区に海水が流入すると短時間で床上浸水となってしまう過程が、数値解析によって明らかになった。船溜や海岸堤防の破堤が生じていれば、破堤部での流量フラックスの増大により洪水到達時間が減少するため、さらに人的被害は拡大したものと考えられる。

3. 高潮危険度の評価

高潮危険度の評価方法について検討し、松合地区を対象に評価を試みた。

3.1 評価方法

高潮危険度の評価は、(1)想定しうる最悪の高潮氾濫による堤内地の最大浸水深や洪水到達時間を氾濫解析で求め、(2)その時の避難の必要性および安全性を評価するという手順で行うこととした。

(1) 泛濫解析

海岸に設置されている堤防・護岸は、計画波浪に対して必要な高さと余裕高を計画潮位に加えた高さを天端高として設計されている。計画潮位は既往最大潮位、もしくは朔望平均満潮位に計画規模の最大潮位偏差を加えた潮位であるため、越波することはあっても、堤防・護岸を海水が完全に越流することは稀である。しかし、潮位が堤防・護岸の天端高を上回る場合、あるいは堤防・護岸の天端高以下の潮位であっても破堤が生じる場合、

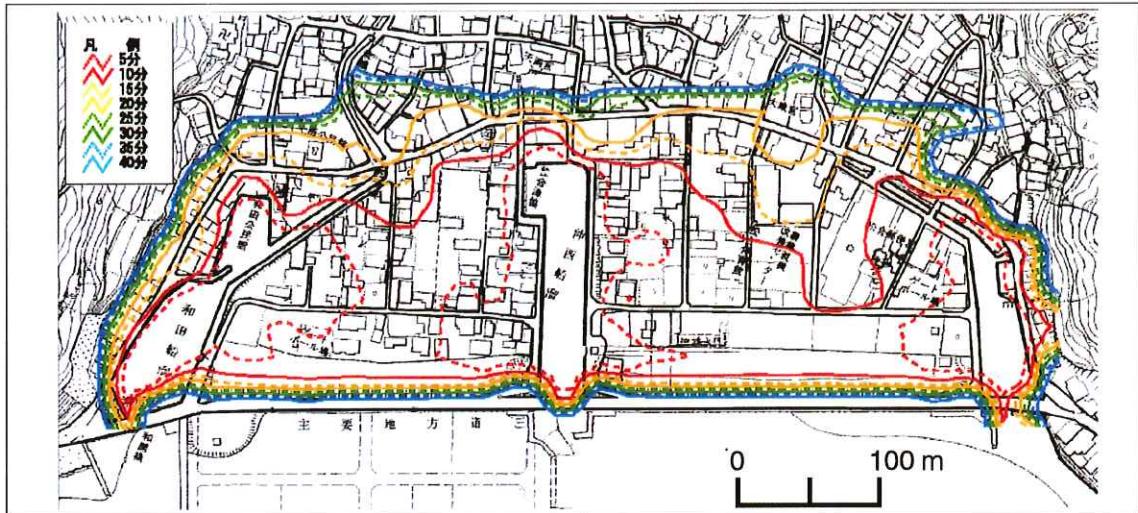


図-3 台風 9918 号時の洪水到達時間

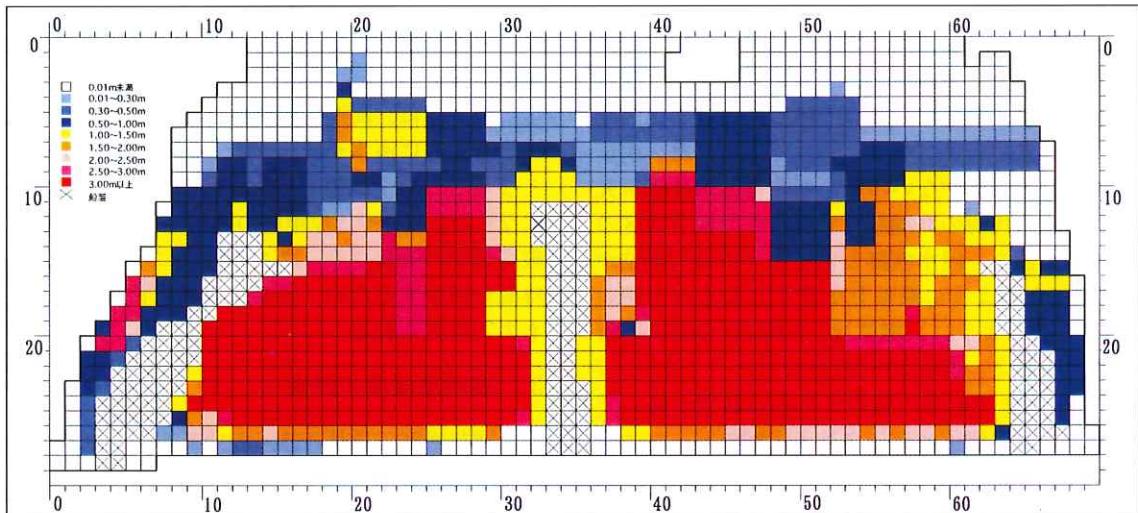


図-4 台風 9918 時の最大浸水深

海水が堤防・護岸を越流して堤内地に流入することになる。破堤は、堤内地への海水流入を著しく増加させ、浸水域や浸水深の増大、洪水到達時間の減少を引き起こす。

海岸に設置された堤防・護岸の多くは、越波や越流による浸食を防ぐため、表のり、天端、裏のりともコンクリート等で被覆されていることが多い。このため、堤防・護岸を海水が越流しても、越流区間全てが破堤するとは考えにくい。

そこで、最悪の高潮氾濫として、潮位が堤防・護岸の天端高と同じ高さになった時、あるいはそれ以下でもピークに達したときに堤防・護岸が破堤するケースを想定することとした。図-5のように、破堤は対象海岸のどこか 1箇所で生じる

ものと仮定し、その破堤箇所を沿岸方向に移動させて氾濫解析を行い、あらゆる破堤箇所に対して堤内地の各点がもっとも危険となる時の最大浸水深、洪水到達時間を求めた。

(2) 避難の必要性および安全性の評価

高潮氾濫により家屋が浸水することが予想される場合、浸水する前に安全な場所へ避難する必要がある。避難の必要性は、最悪の高潮氾濫を想定した氾濫解析により得られる最大浸水深で評価できる。台風接近時は風雨が強まることが多く避難には危険が伴うので、風雨が強まる前に避難することが望ましいことはいうまでもない。

しかし、海岸の背後に低平地が広がる地域では、海水が堤内地に流入し始めてから想定浸水域全体

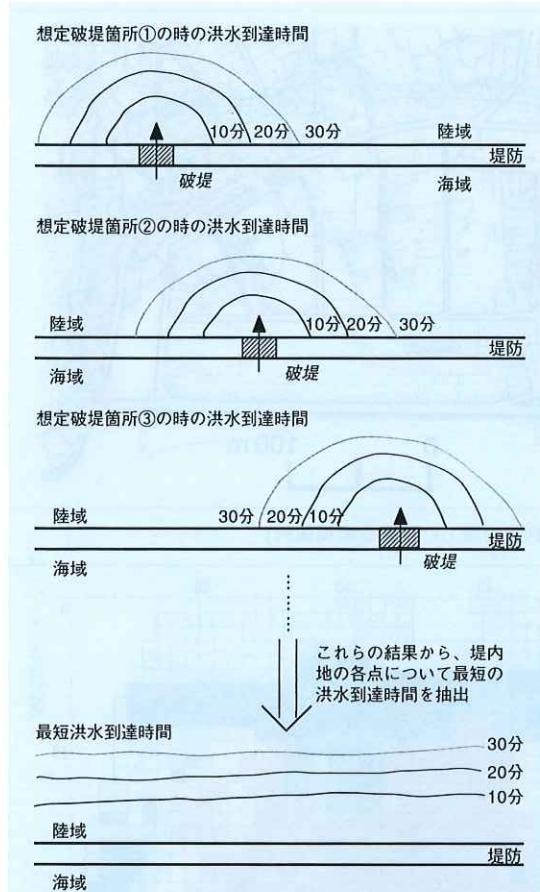


図-5 最短洪水到達時間の算出方法

に広がるのに1時間以上かかることが予想され、万一避難行動の開始が遅れても海岸から離れた地区では避難が成功する可能性が高い。このような地域では、海岸から離れることにより、最大浸水深はあまり変わらないものの、洪水到達時間が長くなるため、危険度は低減していくものと考えられる。洪水到達時間は相対的な危険度の指標に過ぎないが、避難所の整備等の地域防災の検討にあたっては重要な情報である。

そこで、氾濫解析で得られた最大浸水深と洪水到達時間をもとに、人的被害に対する相対的な危険度を図-6のような基準で評価した。まず、最大浸水深が床上となる地点を要避難区域とする。その中でも、浸水時にも全てが冠水せず、流出することもない住宅であれば、避難を必要としないものとする。それ以外の要避難区域については、堤防から海水が溢れはじめた時点で避難を開始すると仮定し、避難に要する時間と洪水到達時間とを比較し、洪水到達時間の方が長ければ危険度Cとする。洪水到達時間の方が短い場合は、

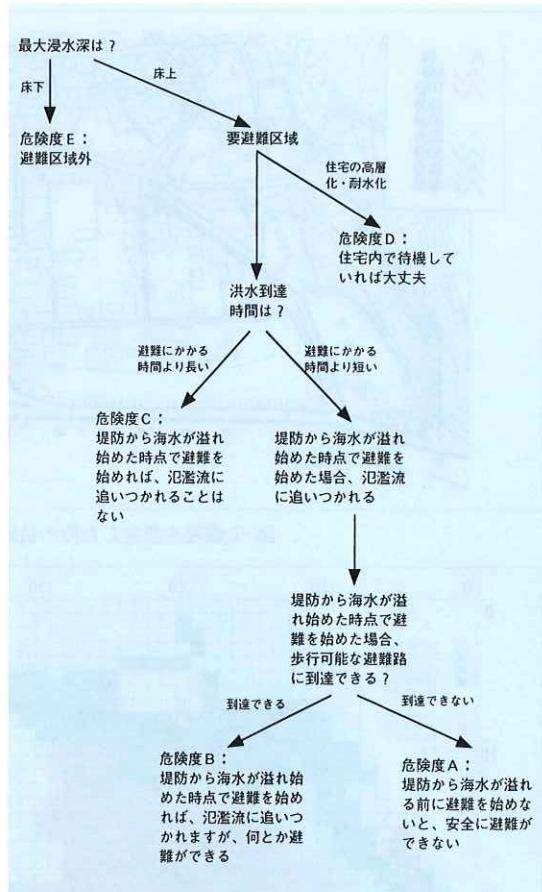


図-6 高潮危険度の評価方法

堤防から海水が溢れ始めた時点で避難を開始すると氾濫流に追いつかれるが、追いつかれても避難路の浸水深が小さければ避難可能な場合がある。そこで、高潮氾濫時でも歩行可能な避難路まで到達できるかどうかを基準にして、さらに危険度を分けた。

この評価法では、堤内地における避難所等の整備や住宅の耐水化の効果を評価することができる。たとえば、高潮氾濫時に水没しない安全な避難所が危険度AあるいはBの領域に整備されると、避難所要時間が短縮されるのでその避難所の周辺は危険度Cとなる。また、高潮氾濫時でも歩行可能な安全な避難路が危険度Aの領域に整備されると、その避難路の周辺は危険度Bとなる。また、高層化・耐水化により危険度A~Cの住宅地は危険度Dとなる。

3.2 評価例

氾濫解析では、仲西船溜の西側および東側、和田船溜の東側、山須船溜の西側の4箇所において、背後地がもっとも低い箇所を破堤箇所とした。

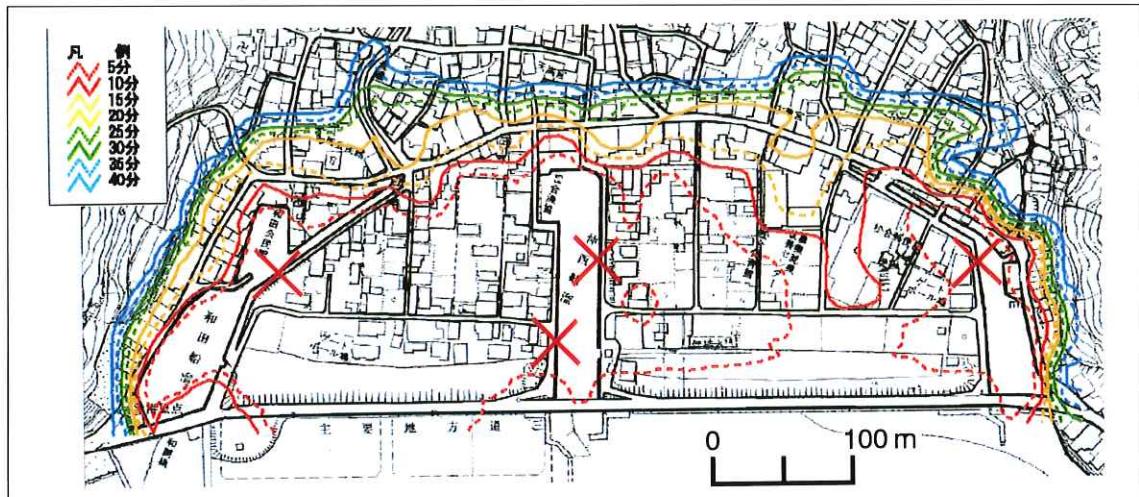


図-7 破堤を想定した際の最短洪水到達時間 (×は想定破堤箇所)

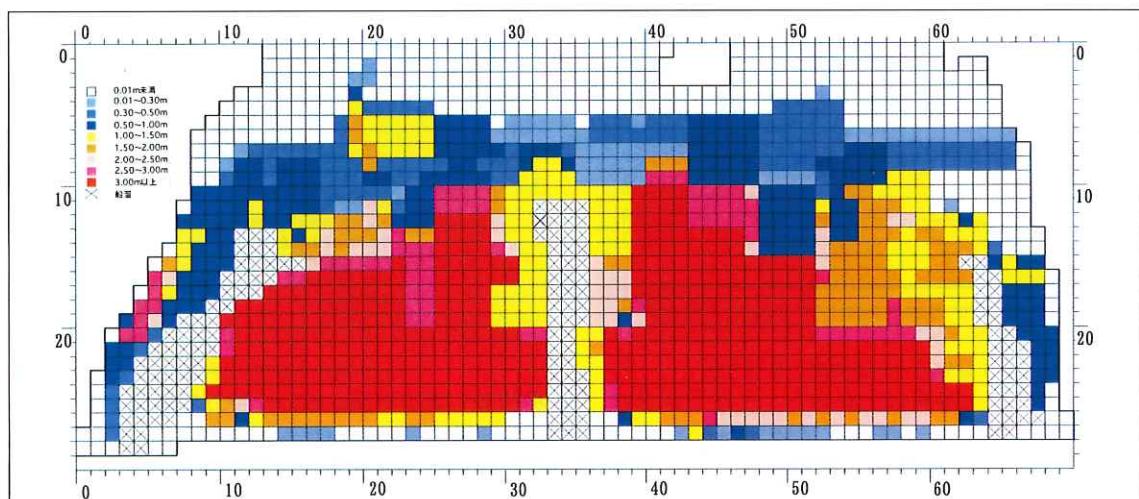


図-8 破堤を想定した際の最大浸水深

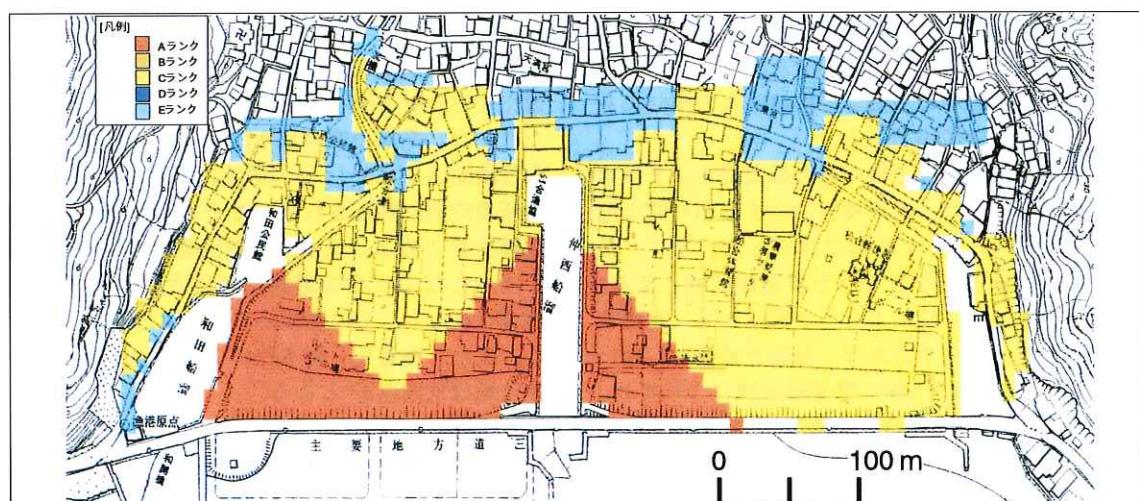


図-9 台評価された高潮危険度

また、破堤形状については、海岸堤防の破堤事例が少ないので、鉛直方向は河川の氾濫解析²⁾にならって背後の地盤高まで破堤するものとし、破堤幅は解析領域の大きさを考慮して50mとした。潮位や粗度係数は前章の計算と同様である。

危険度の評価では、全ての家屋を平屋としたため危険度Dの領域は存在しない。また、避難所要時間の算定に必要な避難速度は河川災害時の実績³⁾を参考にして時速1.5km、避難可能水深は成人女性が避難可能とされている⁴⁾50cmとし、避難先は浸水域の境界とした。

図-7は洪水到達時間を、図-8は最大浸水深を示している。台風9918号時の再現結果を示す図-3、4と比較すると、洪水到達時間が5分以下となる領域が広がり、最大浸水深が大きくなる点が若干あるものの、全体としてはそれほど大きな違いは見られない。その理由として、今回の解析では破堤箇所以外からも海水は流入しているため、再現計算と比べて破堤箇所での流入量が若干増えたにすぎないことが考えられる。

図-7、8をもとにして高潮危険度を評価した結果を図-9に示す。船溜や海岸堤防の近傍で危険度Aと、その周囲の床上浸水となる地点は危険度Cと評価された。なお、松合地区には安全な避難路がないため危険度Bの領域はなかった。図-9を図-1と比較すると、台風9918号による人的被害の分布が危険度と整合していないが、それはこの評価法があくまで地区の潜在的な危険度を評価するものであるため、避難準備時間や、避難行動が困難な災害弱者の有無等を考慮していないことによる。

4. おわりに

本研究により得られた主な結論は以下のとおりである。

(1) 台風9918号時の高潮氾濫により、不知火町松合地区では堤内地に海水が流入し始めてから短時間で甚大な浸水となったことが数値計算で明らかになった。

(2) 高潮に関する地域防災の検討に資する高潮危険度の評価手法を提案し、松合地区を対象に評価を試みた。

今後、破堤条件の設定法や危険度の考え方についてさらに検討し、高潮危険度の評価手法のマニュアル化を図る予定である。

最後に、松合地区的地盤高データを提供していただいた熊本大学工学部の滝川清教授、高潮計算の結果を提供していただいた運輸省港湾技術研究所水工部の河合弘泰主任研究官、浸水や海岸保全施設に関する資料を提供していただいた熊本県河川課、漁港課に謝意を表します。なお、本研究は関係7省庁による「高潮防災情報等のあり方研究会(委員長：京都大学防災研究所河田恵昭教授)」の一環として行われ、建設省河川局海岸室の高野匡裕建設専門官および吉田正則係長より御指導いただいたことを記して謝意を表します。

参考文献

- 福岡捷二、川島幹雄、松永宜夫、前内永敏：密集市街地の氾濫流に関する研究、土木学会論文集、No.491/H-27, pp.51-60, 1994.
- 栗城稔、末次忠司、海野仁、田中義人、小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル(案)－シミュレーションの手引き及び新モデルの検証－、土木研究所資料、第3400号、137p., 1996.
- 末次忠司：水害時の危機管理の留意点について、土木技術資料、37-3, pp.10-11, 1995.
- 亀井勇：台風に対して、天災人災住まいの文化誌、ミサワホーム総合研究所、pp.230-233, 1984.

加藤史訓*



国土交通省土木研究所河川部海岸研究室研究員
Fuminori KATO

鳥居謙一**



同 海岸研究室長
Ken-ichi TORII

野口賢二***



同 海岸研究室研究員
Kenji NOGUCHI

人見 寿****



同 海岸研究室
Hisashi HITOMI