

高潮対策における内水氾濫シミュレーションを用いた整備計画の策定について

笹井 剛*・岸良 安治**・峯村 浩治***・宮崎 啓司****・浅見 尚史*****

* 前 (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** (株) エコー 技術本部 防災解析部課長

**** 前 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾事務所 港湾保安調査官

***** 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾事務所長

下関港海岸では、海岸保全施設整備事業として、長府・壇ノ浦地区と山陽地区の高潮対策事業が進められている。山陽地区は、臨海部の工業地帯と背後の市街地を高潮、高波から防護するために、護岸嵩上げ、水門、樋門、陸閘設置により防護する整備計画案が検討されている。この計画案において、水門閉鎖時に円滑な貯水が可能となることを確認するため、河川水位観測データを用いて不定流解析モデルの現地適用性を確認した。これにより、河川流出による貯水を考慮した現整備計画案の妥当性を確認し、下関港海岸整備計画を策定した。本稿は、平成 26 年度の下関港海岸整備計画検討会における検討成果をまとめたものである。

キーワード：高潮、内水対策、現地観測、不定流解析、整備計画

1. はじめに

下関港海岸は、下関市の南側に位置し、海岸線及び臨海部は、住宅、企業・工場が集積し、市民生活と産業経済活動の拠点となっており、市の中心部と長府・山陽地区をつなぐ幹線国道がある。地勢は、瀬戸内海周防灘奥部にあり、浅い水深と台風時の風の吹き寄せによる高潮・高波の常襲地帯となっており、高潮等による浸水被害が発生している。特に、1999年の台風18号では、写真-1のとおり、幹線国道の遮断、護岸倒壊のほか、住宅・企業の密集地で大規模な浸水等被害が発生している。



写真-1 1999年台風18号による被災状況

国土交通省九州地方整備局では、2008年度より図-1に示す「長府・壇ノ浦地区」と「山陽地区」の施設延長約18kmについて、直轄の海岸保全施設整備事業（高潮対策）に着手しており、高潮・高波から背後地域を防護することを目的に、海岸保全施設の整備をすすめている（写真-2）。

「山陽地区」は、高波による防護の他、高潮の河川からの遡上・浸水に対する防護が必要であり、海岸護岸の他、胸壁・陸閘、水門・樋門、排水機場等の配置と内水解析及び維持管理を考慮した防護ラインについて計画及び技術検討を行い「下関港海岸整備計画(案)」を策定した。



写真-2 海岸保全施設の整備状況（左）と2012年台風16号発生時の護岸の越波状況（右）（2012/9/17 11:03）



図-1 下関港海岸整備対象地区

2. 山陽地区整備計画の妥当性の検討

2.1 整備計画の検討経緯

下関港海岸の高潮整備計画の検討は、2012年度（平成24年度）より海岸、河川、防災の有識者と行政関係者による「下関港海岸整備計画検討会」及び「下関港海岸整備計画調整会議」を開催し技術課題の検討と関係機関との協議を図ってきた。

昨年度までの協議の成果として、山陽地区では、高波に対する越波防護のための護岸嵩上げと、高潮遡上による複数の河川・水路からの越流防護のための水門等の施設配置による防護を基本計画とすることが決定されたが、水門閉鎖時における貯水域（図-4に示す3つの領域）貯水位を設定している内水氾濫シミュレーション（不定流計算）の現地適用性の確認が課題とされた。

2.2 河川水位の現地観測の実施

数値解析モデルの再現性の確認のため、2014年6月26日～7月30日の出水時に34日間の河川水位の連続観測を図-2に示す計12地点で実施した。

下関港海岸は、潮位変動が大潮期で4m近くあり、満潮時、河口付近では河道内水位が潮位の影響を受ける。そのため、河川流況の検証データは、平均潮位以下の低潮位の時刻に降雨による出水（河川水位上昇）を観測する必要がある。観測期間のうち、この条件に合致するのは7月3日、7月7日であり、2つの出水時になる。このうち図-3に示す7月7日降雨は期間内で最も大きな水位上昇が観測された。

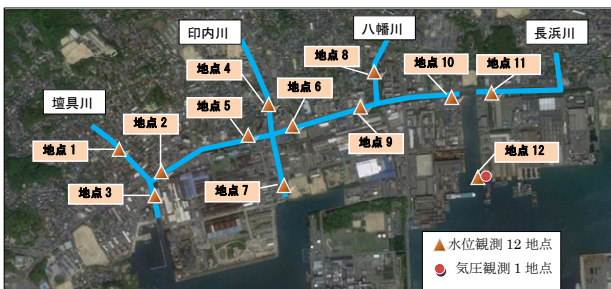


図-2 流況観測の観測地点位置

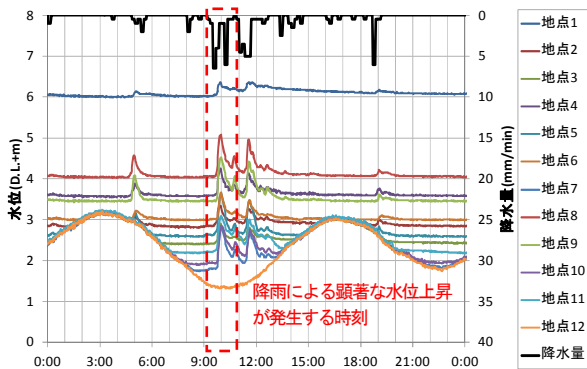


図-3 観測水位および降雨データ（7月7日）

2.3 河川・水路・貯水域の内水域解析

基本計画の内水域は、壇具川、印内川、八幡川、長浜川流域に区分されるが、国道に沿った水路を介して貯水域まで連結された一連の水域が形成される。このため、高潮時の当該水域内の水位変化等を適切に評価するためには、数値解析上においても複雑な水路ネットワークを表現可能で、かつ貯水域間の水の流入・流出を考慮可能なモデルを使用する必要がある。

これらの条件から、数値解析モデルは、式(1)～式(3)に示す浅水長波理論式による2次元不定流解析モデルを用いて内水解析を行った。ここで、 η は水位、 M 、 N は x 、 y 方向の単位幅当り流量、 h は静水面からの水深、 $D=\eta+h$ 、 g は重力加速度、 n はマンニングの粗度係数、 κ は水平渦粘性係数である。

解析では、河川、水路、貯水域を接続した領域を図-4のように設定し、下流端の出発水位を水門閉鎖水位(M.S.L.)として、各河川の上流から流出ハイドロによる流量を与えて、河川、水路、貯水域に対する水位および流速の時空間変化を解析した。

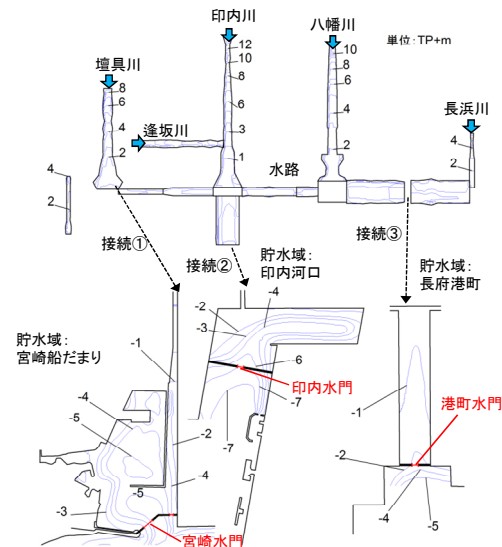


図-4 不定流解析領域図

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} - \kappa \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} - \kappa \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3)$$

2.4 現況地形と河川水位の再現結果

再現計算の結果、河川内における解析水位は、図-5のように現地の観測水位を比較的良く一致し再現することが確認できた。これにより当該水域における適用性を有するモデルとして内水氾濫解析に使用した。

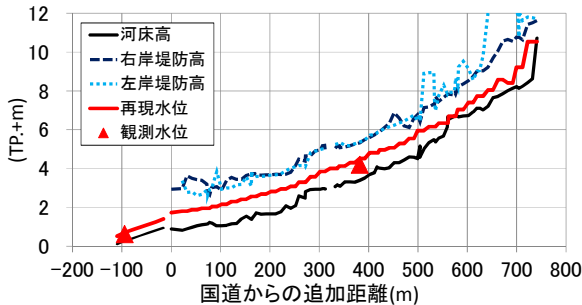


図-5 河川における観測水位と解析水位の再現性確認 (現況地形, 壇具川, 7月3日 8:40 降雨)

3. 山陽地区整備計画の検討

3.1 山陽地区の計画条件

山陽地区の計画条件は表-1, 図-6 に示す計画潮位(高潮)と設計波高(高波)及び計画内水位を設定した。内水計画では、防護ライン内に湛水する水を内水と定義して、高潮時の水門締閉鎖時に河川からの出水により河道・水路・貯水域内に湛水を許容する最大の水位を計画内水位高として設定した。

計画潮位は、既往最高潮位 T.P.+4.42m 潮位偏差 2.54m(1999年18号台風:T9918)を採用している。T9918の潮位偏差は、天文潮位を考慮した再現期間125年と算定されており、1950年以降の他の台風来襲時の高潮高はT.P.+2.53m~+2.71mでありT9918が突出している。計画内水位は背後地に浸水が発生しない高さとし、河道・水路・貯水域を形成する護岸天端高を基に設定した。計画降雨は、下関に接近した台風のうち、各年において6時間の降雨量が最大となるものを抽出し、極値統計解析で確率雨量を設定した。高潮時の河川条件の設定は海岸基準に特に定めはないことから、山口県及び下関市の河川管理者と協議を行い検討会に提示・決定した。

表-1 高潮対策の計画条件

海岸条件	計画潮位	H.H.W.L. D.L.+6.44m(T.P.+4.42m)
	設計波	50年確率波(SE, Ho=4.1m, To=7.0s)
	許容越波流量	0.01m ³ /m/s
河川条件	計画降雨	台風期6時間降雨量(1/10確率)
	流出計算	合成合理式による流流ハイドロ
	計画内水位	T.P.+3.3m
水門・排水機の稼働条件	水門閉鎖	M.S.L.(T.P.+0.08m)
	水門解放	内水位より外水位が低くなった時点
	排水機	水門閉鎖と同時に稼働

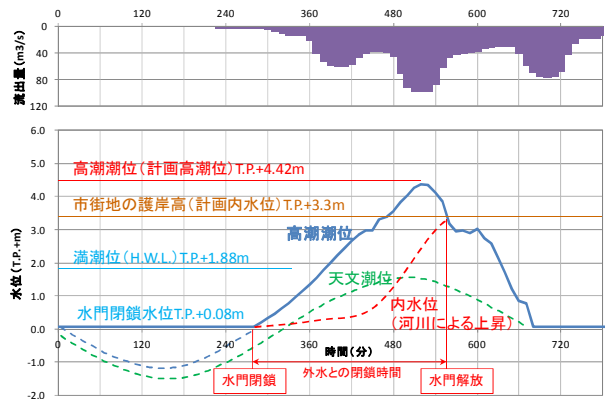


図-6 計画高潮位と計画降雨を考慮した内水処理

3.2 山陽地区における高潮対策の基本計画

平成25年度の検討会における山陽地区の基本計画は、図-7に示すように各河川の河口部に当たる宮崎, 印内, 港町, 新川, 才川の計5箇所に水門を設置して、計4箇所の貯水域を設けた案となっている。これにより、防護ライン及び水門を可能な限り沖側に配置し貯水域の拡大を図ることで、排水機場を必要としないため、本来必要となる排水機場の維持管理費が節減できることから排水機の点検、補修に掛かるライフサイクルコストを含めた経済性において優位となる最適案として選定されている。



図-7 山陽地区高潮対策の基本計画

3.4 整備計画案の高潮時の内水位解析

基本計画に対して、高潮時(水門閉鎖時)の不定流解析を実施した。解析による代表地点の水位変化を図-8に示す。現況では各河川の下流部は外水位(潮位変動)に追従してT.P.+4.42mまで水位が上昇するが、基本計画では全ての河口部に設置した貯水域に河川からの出水が湛水されることにより、外水位よりも水位が低く抑えられている。

ただし、貯水域内の内水位は港町貯水域の水位の上昇が早く、満水状態になると港町から印内方向に流れ込んでいる。これにより印内水域と港町水域では最大水位が異なる結果となった。このとき全貯水域に対して最大水位となる港町貯水域ではT.P.+3.60mとなり貯水域護岸および水路護岸の天端高を局所的に超過する高い水位となる箇所を確認した。このため、整備計画を見直し一部河川護岸等の嵩上げを行うこととした。

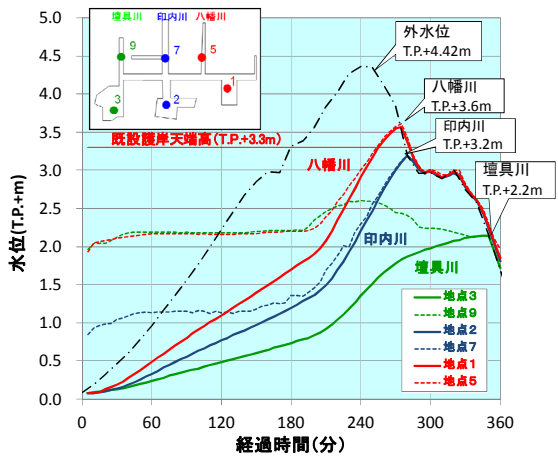


図-8 代表地点の水位変化図 (計画外力：基本計画)

4. 施設の管理・運用方策とソフト対策

下関港海岸の整備方針は、計画外力（高潮潮位+高波+降雨）に対しては海岸保全施設による「防災」を基本とし、発生頻度は低いものの大きな被害をもたらす計画を超える外力（超過外力）については、被害の最小化を主眼とする「減災」の考え方にに基づき対策を行うものである。

この超過外力に対する影響予測として、近年の集中豪雨の状況から10分降雨データを用いた浸水予測を行った。これによりピーク時の流量が増加することから、貯水域の外殻施設天端からの越流により基本計画においても図-9に示す浸水域が発生することが確認された。

超過外力による浸水発生時の減災対策として、排水機場による強制的な排水が効果的であるが維持管理費用の確保が課題となることから、対応策の一つとして、国土交通省緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE)でも運用されている可搬式ポンプ車の導入・活用が考えられる。現在、下関市ではソフト対策として、「高潮ハザードマップ」と「防災メール」による情報提供サービスが実施されており、これらのソフト対策と連携を図ることが超過外力への有効な対策の一つと考えられる。

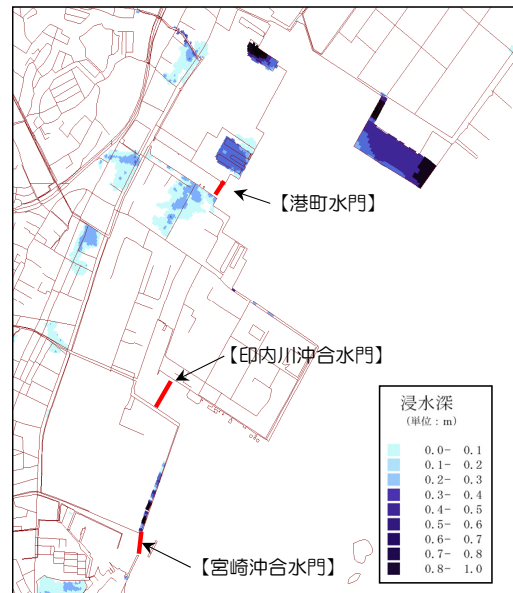


図-9 10分降雨に対する浸水予測

5. まとめ

下関港海岸高潮整備計画では、河川からの流入による内水対策を含めた詳細な検討を実施して図-10に示す整備計画を策定した。今後は、水門・取付護岸の止水対策、水門整備による閉水域の環境影響対策等の具体的な技術的な課題に対して解決を図っていく必要がある。

謝辞

調査にあたっては、下関港海岸整備計画検討会（委員長：九州共立大学 小島名誉教授）の各委員、下関港海岸整備計画調整会議の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。



図-10 山陽地区の防護ラインと水門・陸閘等配置 (基本計画)