

沿岸低平地の河川運河網における洪水と汚濁防止のための排水システムの協調制御

鳥取大学工学部 正会員 ○城戸由能

1. 緒 言

沿岸域に発達した都市では工業化が進み、地下水利用で地盤沈下が促進され、ゼロメートル地帯が発生している。このため、高い防潮堤で外海からの高潮進入を防いでいるが、一方で流域の不浸透化の進行により増加した内水排除を困難にしている。また、点源の汚濁負荷は減少しているものの、雨天時の非点源汚濁負荷については発生量の把握や制御が困難であり、特に、晴天時流量が減少した都市内河川および沿岸の水路網にとっては大きな負荷となっている。さらに、河口付近では、外海から海水が進入し、河口から感潮部にかけての窒素・リンなどの栄養塩類の濃度は高く、夏季には海洋で起こる赤潮現象が河口付近でも観察される。

このように高潮対策のための高い防潮堤や水門と内水浸水防止のための雨水排除施設の制御がトレードオフの関係におちいつている一方で、水辺にアメニティを求める市民の欲求は強まっているが、高い堤防は水面へのアクセスを困難にし、水質の悪化は市民の水辺への関わりを拒んでいる。そこで、内水排除のための下水道ポンプ、河川河口の排水機場、港湾域の運河網、外海との物流を制御する開門および水門の操作を協調させることで、洪水防止と河川水質浄化を達成し、市民の憩いの場を提供するための方策を検討した。

2. 港湾域運河網と都市内河川の現状と課題

研究対象河川は流域面積22km²の典型的な都市内河川であり、流域全体が市街化している。1965年頃までの地下水の汲み上げで地盤は沈下し、河口から約1/3の流域はゼロメートル地帯である。流域は高い堤防で囲まれ、開門と4水門、2排水機場により港湾域の水位の調整(基準水位:0.P.+1.35m)が行われ、外潮位が基準水位を越えた場合には全水門が閉鎖される。開門の開放時間は1日8時間程度であり、運河域から外海への排水は通常雨天時に年間30日程度行われている。現在の高潮対策は過去の観測最大潮位(1961年の第二室戸台風)を対象にして計画がなおされており、その計画確率は100年に相当する。一方、流域内の下水道普及面積率は1993年度末で94%であり、内水排除の計画降雨確率は10年を最終目標とし、現在、降雨確率6年相当の事業を実施中である。

下水道の普及に従い河川への流入負荷と同時に晴天時流量も減少し、現状では中流部で1.35m³/sec程度と低い。流量の低下は汚濁物の沈降を促し、河口付近では年間10cmの汚濁負荷の堆積が観測されている。一方、合流式下水道の中継ポンプ場からの越流は年間20回に及び、放流水質は晴天時の河川水質に比べてBODで約2倍、SSで約6倍である(表1)。河口の水位は運河域の基準水位(0.P.+1.35m)に維持され、河口付近の水深は約3mで流速はほとんど無く滞留し、外海からの海水が塩水くさびとなって進入している(表2)。観測や流動予測の結果(図1)、晴天時はもとより雨天時や河口から強制排水を行った場合にも、上げ潮時には海水遡上が確認されており、河口付近の水質汚濁は深刻で内部生産の高い富栄養化した水域となっている(表3)。

表1 河川水と下水道越流水の水質(1992)

水質項目	晴天時河川水質	雨天時下水道越流水質
BOD(mg/l)	8.9	13.0(10-16)
COD(mg/l)	N.D.	9.5(8.7-9.9)
SS(mg/l)	7.0	39.0(33-46)

※平均値および(最大値-最小値)

表2 河川の上層下層別水質

	流速 (cm/s)	塩分 (%)	DO (%)	BOD (mg/l)	T-P (mg/l)
上層	+1.4	75.0	36.0	4.2	0.46
下層	+1.3	211.0	6.6	7.1	0.54

表3 河口付近の夏季水質

水質項目	河川	港湾
COD(mg/l)	10.0	8.6
DO(mg/l)	4.0	5.1
T-P(mg/l)	0.36	0.25
Chl-a(μg/l)	4.9	18.4

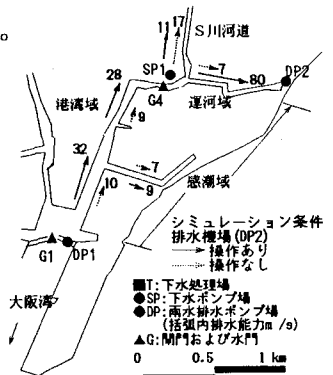


図1 海水遡上流速(cm/s)の予測結果

3. 水質改善と洪水防止のための4段階の協調制御

従来の港湾計画や河川計画は洪水防止を重視し、目標治水確率に対応した大規模施設の能力がすべて効果を発揮するのは数年あるいは数十年に一度といったまれな現象であり、多くの期間は利用されていない。そのため、連続する時間軸上全体での効用を高める制御戦略(Control Strategy)の検討が必要であり、晴天時から10年に1度程度の洪水発生までの期間を4つの段階にわけ、それぞれの段階における制御ルールと段階間の移行ルールを設計し、総合的なシステムの制御戦略を構築し、費用/効果/リスクを定量的に評価してみた。

(1) 晴天時制御段階 (第1段階) : 晴天時の河川水質の改善のためには、①負荷削減、②流速の確保、③外海水の進入防止について基本的な施策を検討した。流域条件等に基づき、ポンプ場近辺の公共用地を利用した滞水池、底泥浚渫、他河川からの浄化水の導水、河口水門の開鎖と外海への強制排水、潜り堰による海水遡上の防止の施策効果について試算した結果、河口水門開鎖と強制排水により河口付近の水深を低下させる制御によりかなりの水質浄化が期待できることが明らかになった。しかし、河口水門の開鎖は雨天時の洪水防止の面からは内水排除を制限することとなり、雨天時にこの水門を開放するためのルールが必要となる。

(2) 小降雨時制御段階 (第2段階) : 晴天時の制御が河口付近の河道に新たな貯留能力を生みだし、これが小降雨時の洪水制御にも効果を発揮する。河口から1.9kmの河道区間で創出される約240,000m³の貯留能力は、排水能力11.0m³/sのポンプを6時間稼働させるのに匹敵する。現存する排水機場の排水能力とこの河道の貯留能力を加えると、34.5mm/hrの降雨時も河口水門を開鎖したまま内水浸水をおこさない。これは確率年数にすると5年に相当し、現状の下水道およびS川の洪水防止計画と同等の治水レベルを達成する。

(3) 中規模降雨時制御段階 (第3段階) : 確率年数5年以上の降雨が発生した場合には洪水制御が水質汚濁防止に優先し、河川・港湾の治水能力を効率よく利用して洪水制御にあたる。港湾域の水位は0.0P.+1.35mに維持されているので、河口の河川水位がこの値に達したとき河口水門の開放を開始し、水位とその変動速度にもとづき開放度を変更する比例制御を実行する(図4)。水門は数段階の開放度で進めるのが現実的であり、そのことで下層の塩水遡上を少なからず防止し、部分的に水質汚濁防止機能も果たすことができる。さらに、より大きな降雨の発生に対処するため、港湾排水機場のポンプ(DP1)の稼働を開始し、港湾域の維持水位を現状(0.0P.+1.35m)から船舶が航行可能な最低レベル(0.0P.+0.6m)まで低下させる。この際、外潮位が高ければ閘門および水門は閉鎖されるが、港湾排水機場の能力分だけ河川から港湾域への放流量が増加されるので河川の治水安全度は高まる。

高潮対策との関連性を考慮しても、下げ潮と降雨が重なった場合には、河川排水機場から降雨初期に雨水を強制排除しても河口付近に貯留させてから排除すればよく、外海への放水量の自由度が増える。上げ潮時には、閘門を閉鎖し港湾域から外海へのポンプ排水能力を上限として、河川から港湾域への放流量が確保される。河川の治水・水質管理の対策と港湾の高潮対策に不整合はおきない。また、河口水門の開放開始は確率年数5年程度の規模の降雨の発生を意味し、制御システムにとって明確な制御段階変更の指標となる。

(4) 強降雨時制御段階 (第4段階) : 確率年数5年以上の大規模降雨が発生した段階では、あらゆる施設がその能力を最大限発揮して洪水制御を行う。前段階で水位を下げた港湾域の貯留容量は500,000m³になり、全流域に21mmの降雨が降った場合の流出雨水量に相当する。この貯留容量と河道の貯留容量および河川港湾の排水能力のすべてを合計すると、高潮が同時に発生して閘門・水門が閉鎖されていても6時間120mm、確率年数10年に相当するの降雨に対応可能である。気象庁のアメダスによる3時間降雨予測などの情報にもとづいて、第3段階から第4段階への制御の移行を決定すればよい。

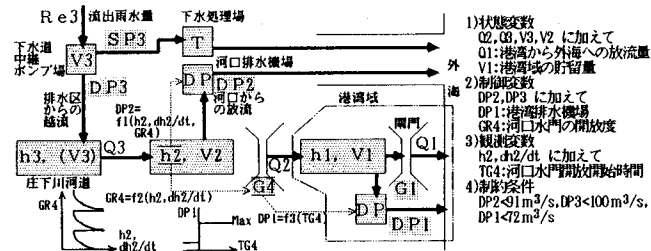


図2 協調制御の第3段階の制御ルールの概要

4. 協調制御戦略の評価

4つの段階からなる協調制御戦略を①水質改善、②治水安全度、③操作コストの面から評価したのが表4である。河口水門の操作頻度が増え、その運転コストや誤操作の危険度が増加するが、一方で河口水門の開放開始時刻という強降雨時の段階への移行判断基準が明確になることで、治水安全度は高くなると評価できる。水質改善効果については、現状の制御に比べて格段に有利であることは晴天時の効果を見れば明らかであろう。

制御段階	発生確率	水質改善	治水安全度	操作コスト
1. 晴天時 ・段階移行R-A1	年間260 -280回	○ 塩水遡上なし ○ 滞留時間短縮 ○ 港湾域への 負荷放流なし	△	△ 河口水門操 作頻度増加 △ 河口水門と 排水機場の 協調制御 △ 港湾排水機 場の運転 頻度増加
2. 小降雨時 ・段階移行R-A2	年間80 -100回	△ 塩水遡上減少 △ 港湾域への 負荷放流減少	△	△ 排水機と 水門の操作 の難度増 △ 河口水門 開放の判断 が容易
3. 中規模降雨時 ・段階移行R-A3	5年に1回	△	△	△ 強降雨時に 対し全施設 稼働が容易
4. 強降雨時	10年に1回	△	△	△

凡例(既存制御に対する相対評価) ○: 有利, △: やや有利, -: 同等, ▽: やや不利