

(52) 佐賀低平地における水管理

—— 内水排除システムの観点から ——

INTEGRATED WATER MANAGEMENT SYSTEM IN SAGA LOWLAND

—— FLOOD CONTROL AND DRAINAGE SYSTEM ——

権藤幸彦*

遠田勝美**

古賀憲一***

Yukihiko GONDÔ*

Katumi TOUDA**

Kenichi KOGA***

野原昭雄***

渡辺訓甫***

荒木宏之****

Akio NOHARA***

Kunitoshi WATANABE***

Hiroyuki ARAKI****

ABSTRACT; The hydrological problem of Saga area is governed by the fact that almost the area is below the Ariake sea level with the highest tide in Japan. Another problem is difficulty of supplying huge quantity of water for agriculture because of less water resources in Saga area. Therefore, open channel network system, Saga creeks, have been developed in this area. In this paper, an old system of water management on Saga creeks is described. The water management was a kind of integrated system by making use of function of Saga creeks such as drainage, storage. On the other hand, the main objective of modern and general water management is to protect flood damage caused by main river. The paper describes that, according to the modern concept, there has been many problems on drainage system in lowland especially in Saga area. Also, it is described that many factors to be cleared such as the drainage characteristic, time constant of design rainfall and the storage effect of channel network are examined. Finally, it is pointed out that the integrated water management system should be developed especially in lowland such as Saga area.

KEYWORDS; integrated water management, lowland, flood control, drainage system

1. まえがき

佐賀県では自然排水が困難な地域、いわゆる低平地域が全平地面積の約70%(全平地面積約700km²のうち低平地域約510km²)を占め、県下人口の約35%に当たる約30万人がそこに住んでいる。とりわけ、佐賀平野を中心とした有明海沿岸の低平地域は、昭和30年代より始まった地盤沈下や有明海の潮汐作用や浮泥の堆積作用によって、ほとんど毎年といっていいほど水害に悩まされている。一方、利水面に目を向けると、集水能力の低い背振山系があるだけで水資源は決して豊富でなく、不安定な淡水取水、地下水(地盤沈下の要因になっている)への依存度が高い地域でもある。したがって、佐賀低平地では、古来「降

* 佐賀県道路公社、住宅供給公社

** 佐賀県土木部河川砂防課

*** 佐賀大学理工学部

**** 佐賀大学低平地防災研究センター

れば大水（内水被害）、晴れば渇水（干害）」という相反する水問題と対処してきた。水資源の確保については、ダム築造などによって緩和されつつあるが、内水被害に関する問題は依然として解決されておらず、現在でも夕立ち程度の降雨で浸水被害が生じている地域も少なくない。このことは、低平地においては、内水による被害が大きいにもかかわらず、我国の治水対策は高水優先の考え方が強いこと、及び高水対策に比べて、低平地の内水排除システムが脆弱であることを意味している。

本研究の最終目的は、低平地の総合水管理を行うことであり、そのためには、現在取り組みが遅れている低平地の内水排除システムについて検討を加える必要がある。以上の観点から、本文は藩政時代から行われてきた佐賀低平地水管理の考え方、現在までの佐賀低平地の内水被害の実態把握を通して、我国の低平地内水排除システムに関する問題提起、ならびに、その基本的考え方について検討を加えたものである。

2. 藩政時代における佐賀低平地の水管理

2. 1 藩政時代の水利事業と背景

図-1に佐賀平野河川の概略図を示す。佐賀平野は、筑後川、嘉瀬川等の沖積作用と人工的干拓により、有明海を南進し現在の姿となっており、干拓地の進展とともに農業用水の確保が重要な課題であった。佐賀平野には、筑後川、嘉瀬川及び江湖からなる三つの水源があり、それらの水源は、クリークにより連結され、農業用水の確保のためのクリークが発達していった。平野に取り入れられた水は、そのまま放置すると引潮と共に有明海へ流出するので、水位、流量を調節するために堰、樋門・樋管が設置された。また、佐賀低平地は、我国最大の干満差を有する有明海に面しているために、潮位によって排水不能な時間帯が生じるので、機械力のない時代には遊水・排水のためにもクリークが必要不可欠であった。クリークの貯留能力は莫大なものであったが、灌漑期においてはクリークが満水状態となるために、その効果を期待するのは困難であった。そこで、クリークはその貯留能力（用水・排水）を大きくするために密度と大きさを増していったが、現在のような整然とした体系化されたものではなかった。

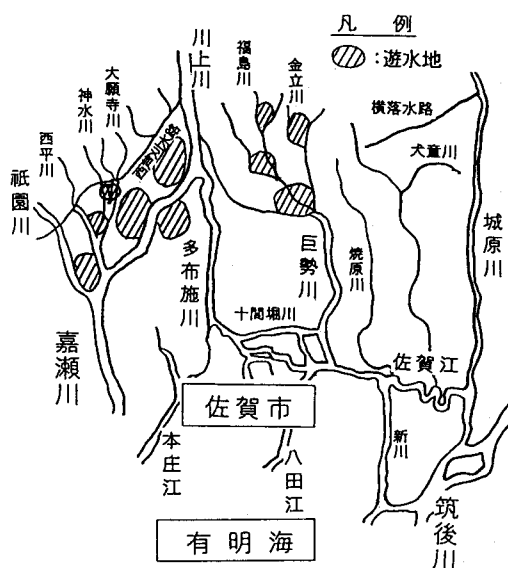


図-1 佐賀平野河川

2. 2 成富兵庫の治水思想

佐賀低平地をはじめ、県内全域的に現在のような水体系を整えたのは、佐賀藩士であった成富兵庫（1560-1634）である。成富兵庫が活躍した17世紀初頭は、各藩で盛んに治水・利水工事が行われ、それにより農業生産力が飛躍的に増大した時期であった。当時の土木事業、特に治水事業の方法論は、洪水を流域全体で受けとめて水を遊ばせる工法、いわゆる水を水で制するソフト的な洪水滞留工法と洪水の全量を河道により一刻も早く流し出すハード的工法に分かれていた。成富兵庫は基本的には、前者のソフト的な洪水滞留工法を採用し、必要に応じて部分的に後者の工法をとっている。筑後川の治水に対しては、千栗土居を築造し佐賀本藩の領土への流入を防止するとともに、万一の破堤あるいは城原川の氾濫については巨勢川の堤防で佐賀城下を水禍から守ることを考えた。嘉瀬川の洪水に対しては、上流の石井樋の上下流堤外地に河道内遊水地および大和三角地帯に遊水地を設け、下流への洪水の集中を軽減させ、さらには祇園川合流点下流の河道を直線で南下させ、洪水を一気に流下させることで佐賀城下を守った。佐賀城下北部山地の洪水および佐賀

中心部の排水対策として、市の江水路を築造し、山地洪水を東西方向で受け、金立短冊地帯で遊水させ巨勢川で流下させた。また、潮位によって自然排水が不能となる場合に備え、水田やクリークでできるだけ内水を受け持つような水系としている。すなわち、成富兵庫の治水思想は、治水と利水を一体化させ、水を遊ばせ、水でもって水を制し、可能な限り被害を分散、公平化させようとしたことであり、現在の総合治水的な考え方に似ている。また、佐賀江川に関する事業の一つとして、佐賀江川から南下する放水路として新川を開削したことが挙げられる。さらに、佐賀江川と新川から筑後川へと排水される際、両河川の放水時間にずれが生じるために、両河川の自然排水能力を最大とするよう水管理がなされていた。この手法は、『新川排水に関する協定書』第7条の(2)に記されているが、現在における樋門の実時間制御と類似のものであり、今後の低平地内水排除システムを考える際、貴重な資料となる。

第7条(2)：尾の島樋管の閉鎖の時刻は、寺井樋管閉鎖の二時間前とし、開放は原則的に同時刻とする。但し、現地の事情により、甲は良心的に時宜に適する処置を執る事ができる。成富兵庫により体系化された治水、利水の『水の管理』は、現在に至ってもほとんど変化していない。しかしながら成富兵庫の行った治水事業に関する水理・水文学的な説明はなされていないのが現状である。

3. 佐賀低平地における治水対策の現状

佐賀低平地における法河川の密度(流路長/面積)は 0.63 km/km^2 であり、九州各県平均 0.37 km/km^2 に比べて、非常に大きい。したがって、これら河川やクリーク(佐賀低平地で約2,200ha)は排水、特に遊水機能を有している。しかし、水田のかんがい用水を確保するための水利施設とその管理体制が定着しているため、内水排除効果を全面的にこれらの水路に期待することは困難である。県で管理している河川の整備状況は、約32%と低い。内水地区を116地区に細分割し、樋管、ポンプの整備状況を示すと、図-2、表-1のようである。低平地域全体の排水樋管の整備状況は、樋管数506箇所、通水断面積 $3,360\text{ m}^2$ 、比断面積 $4.7\text{ m}^2/\text{km}^2$ (通水断面/流域面積)となっている。比断面積 $4.7\text{ m}^2/\text{km}^2$ は、標準的な値($6\sim 8\text{ m}^2/\text{km}^2$)に比べかなり小さい。 $8\text{ m}^2/\text{km}^2$ 以上の排水樋管を有している内水地区は、23地区にすぎず、残り88地区(約80%)はこれ以下となっており、樋管の整備状況が遅れている。排水ポンプの整備状況は、低平地域全体で設置箇所数85箇所、排水量 $571\text{ m}^3/\text{s}$ 、比排水量 $0.8\text{ m}^3/\text{s/km}^2$ (排水量/流域面積)であり、10年確率降雨に対する必要排水ポンプ容量 $1,440\text{ m}^3/\text{s}$ に対し約40%の整備率と極めて低い。特に、近年の水害においては、破堤によるもの

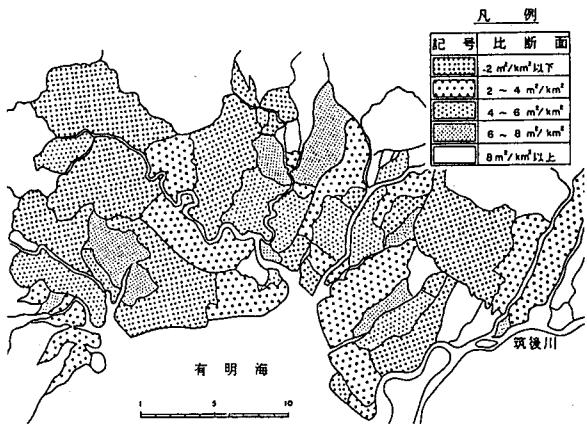


図-2 樋管の整備状況

表-1 ポンプの整備状況

流域区分	流域面積 (km^2)	ポンプ設置 箇所数	現況排水ポンプ	
			排水量 (km^3/S)	比排水量 ($\text{m}^3/\text{S}/\text{km}^2$)
神崎・鳥栖	149.14	12	118.8	0.80
佐賀江川以北	91.20	2	72.0	0.79
佐賀江川以南	69.70	6	61.0	0.88
本庄江川	29.09	3	17.0	0.58
嘉瀬川周辺	39.35	6	29.0	0.74
牛津川	60.73	13	80.1	1.32
六角川上流	51.00	1	0.8	0.02
六角川下流	80.16	10	52.0	0.65
白石・鹿島	102.68	27	125.0	1.22
唐津	15.74	1	3.4	0.22
伊万里	27.40	4	12.1	0.44
計	716.19	85	571.2	0.80

に比べ内水による被害の割合が増加しており、河道の整備とあわせ、排水ポンプの整備が促進されなければならない。

4. 現況の治水計画からみた低平地内水対策の問題点

4. 1 計画対象降雨について

六角川流域を対象として、主要な洪水名、雨量、浸水被害の関係を表-2に示す。内水被害状況を浸水家屋数で表し、2日雨量との関係を図-3に示す。この図から平成2年7月2日の洪水を除いて、2日雨量と浸水家屋との関連性が認められないことが分かる。また、6時間雨量と浸水家屋数との関係を図-4に示す。この図から、概ね6時間雨量150mm以上のところでは概ね浸水家屋数に及ぼす雨量の影響が認められるようである。しかし、150mm未満では浸水家屋との関連性は認め難い。このことは現況の治水計画（河川の高水対策）で用いられている日雨量～3日雨量を基準として内水排除システムを考えることは困難であることが分かる。低平地における内水排除については、

機械排水（ポンプ規模や排水時間）などを考慮に入れた流域全体の外水・内水排除計画が総合的にバランス良く計画されなければならない。さらには、2～3年の頻度で生じている被害の現状を踏まえると、その被害絶対量を軽減させることが急務の課題である。従って、まず過去に生じた内水被害を対象とする取扱いが優先されなければならない。このことは換言すれば佐賀低平地域では過去に度重なる水害が生じていることを表しており、「将来における予測し得る可能性」を前提とする確率の概念は、降雨規模の相対的比較に関しては有効ではあるものの、水害軽減の予測に対しては、さほどの重要性を有しているとは言い難い。詳細については、洪水シミュレーション結果などから判定する必要があるが、現在のところは河川・水路網・排水機を一体化して取り扱えるモデルが存在していないので、その方面の検討が進められなければならない。加えて降雨のパターンについては現在までの被害を考慮した上で、その低減率あるいは被害発生率を評価の対象とする新しい概念に基づく確率年での基本降雨パターンを抽出する必要がある。

4. 2 治水効果の評価方法

六角川流域をはじめとする低平地域の内水被害は、年々増加している。内水被害を考慮した治水効果については、種々の観点から総合的に判断される必要がある。現時点においては、低平地の治水計画の策定に必

表-2 主要な洪水の被害状況

洪水名	実績 日雨量 (mm)	6時間 雨量 (mm)	六角川筋		牛津川筋	
			浸水家屋 (戸)	耕地冠水面積 (ha)	浸水家屋 (戸)	耕地冠水面積 (ha)
S.51年8月2日	229.7	115	2,018	2,627	533	900
S.51年9月12日	141.5		371	769	236	380
S.53年6月10日	205.2	111	189	790	58	360
S.54年6月29日	144.8	105	2,348	4,881	184	901
S.55年8月29日	216.2	105	3,223	4,305	2,164	1,679
S.57年7月22日	242.3	143	1,546	2,203	424	1,155
S.60年6月27日	174.0	106	1,692	3,499	145	1,041
S.61年7月14日	153.2	86	547	749	122	313
S.62年7月19日	149.6	65	257	1,327	17	235
S.63年6月1日	140.0	89	167	1,371	6	183
H.2年7月2日	312.0	251	5,450	6,169	3,380	2,210

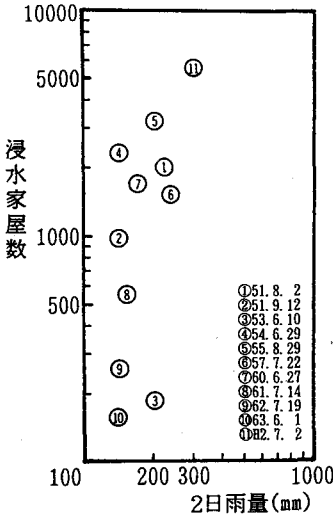


図-3 浸水家屋と2日雨量の関係

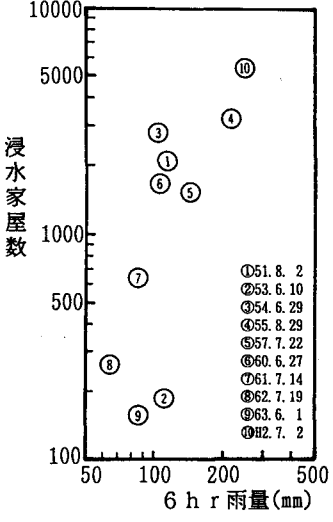
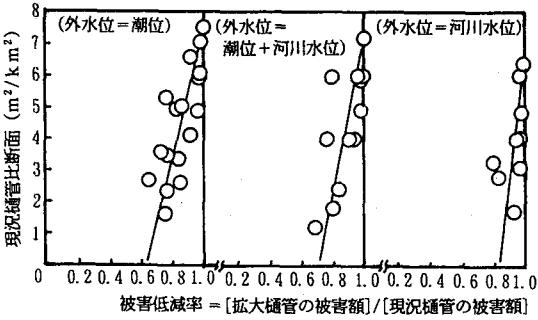


図-4 浸水家屋と6hr雨量の関係

要な基本計画雨量やその確率年に関して合理的な考え方が定まっていけないので、今後検討しなければならない課題である。また、治水事業の経済効果を見積るために定められている『治水経済調査要綱』は、河川の流量規模とそれに伴う洪水（被害）の生起確率の確定を前提としている。したがって、要綱にあるような河川の最大流量に起因する水害を対象にして妥当投資額を算定しても、六角川流域に代表されるような我国でも事例の少ない低平地での治水効果を評価する際に、合理的な治水経済の戦略政策を立てることは困難である。また、内水の水位に起因する被害に関しては、内水の由来を分離することが困難、低平地への集水が速やかに生じ易いこと、潮汐の影響が強い本流域の内水排除には機械排水が必要不可欠、などの理由で、たとえば家屋被害の有無を床下・床上浸水で二分するような考え方は、水理学的にも種々の困難を伴う。換言すれば、速やかに集まりつつある内水を実時間的に排除できるだけのパンプ規模を整備していることを前提として、床下あるいは床上のある所定の位置となるように目標水位を設定して計画を立てることに相当する。従って、そのような規模のパンプが整備されていれば、その位置を床下となるようにパンプを稼働させることは、さほど困難なことではなく、床下及び床上を被害の閾値とすることは余り意味がない。被害の発生からみた内水の水位については、極論すれば設定できないし、設定する意味はないとも言える。低平地での内水排除システムは、パンプの制御や降雨の局所性に対して余裕度を必要とするので、その緩衝効果を有する空間部としての位置づけ（例えば床下までの水量に相当）や基本的考え方が重要となる。佐賀低平地は現在まで頻繁な被害を経験しているため、この過去の実績水害の低減率を評価の対象として内水排除計画が策定されなければならない。また、高水計画と内水排除計画を個々に策定することは得策ではなく、双方の計画を融合化した形で総合的観点に立った計画が策定されなければならない。特に、我国において、河道・水路網の水系の排水・遊水能力（集水・流水能力）も考慮した内水排除モデルや流れの予測計算手法が未だ確立されておらず、そのことが総合的治水計画の策定を阻害している最大の原因であるとも言える。

4. 3 内水排除の水理モデルに関する諸問題

我国においては、樋門・樋管による自然排水は概念的には有効と理解されているが、排水能力に及ぼす樋管拡大の影響について検討した例は少ない。外水位条件の異なる地区を選定し、樋管拡大による被害軽減効果（湛水位、湛水時間、被害額の軽減）を求め、その結果を図－5に示す。この図から、一般的な樋管規模 $5 \sim 8 \text{ m}^2/\text{km}^2$ と同程度の規模 $6 \sim 8 \text{ m}^2/\text{km}^2$ 程度で軽減効果が上限となり、これ以上の樋管拡大による効果は期待出来ないことが分かる。このことから、佐賀低平地の内水排除対策を自然排水で行なうには限度があり、パンプによる強制排水が必要不可欠ということが分かる。自然排水が外潮位と連動して、すなわち自然排水が理想的に行なわれたとすると、その時の排水時間は概ね6時間程度が最長となる。地域住民の心理状態まで考慮した民生被害のことも勘案すると、パンプによる排水時間は短ければ短いほど好ましいことは当然であるが、この理想的な条件下での自然排水に要する時間は、強制排水での排水時間に対する評価基準となる。したがって、内水排除の水理モデルを用いる場合、この自然排水時間が評価の対象となるよう配慮されなければならない。表－3に他事業の内水排除計画の概要を示す。種々の目標に応じた計画に基づいて、内水被害の低減効果を見積る場合、基本となる水理計算モデルが



図－5 樋管拡大による被害低減効果

表－3 他事業の内水排除計画の概要

事業実施機関	事業名等	計画規模	整備目標
建設省	自然排水施設の改善計画	1/30	外水位が低い場合において、氾濫を生じさせない。
建設省	従来の内水ポンプ規模	1/10	家屋の床上浸水防止（便益的な妥当性についても把握）
佐賀県	内水河川の河川改修計画	1/10 ～1/50	外水位が低い場合において、氾濫を生じさせない。
農水省	国営総合農地防災事業	1/30	基準水位（基準田面高+0.2m）以上の湛水時間を24時間以内とする。

必要となる。現時点においては、一池モデル、低平地タンクモデルなど低平地をマクロに見たモデルが一般的である。それぞれのモデルは、河道、圃場での治水や内水排除を重点的に取り扱っているため、流域全体を対象にした総合的な治水効果を評価するには、モデルに適用限界が生じる。また、低平地の内水排除は強制排水に対する依存度が強いので、河道・水路網・遊水地・ポンプを同時に扱い得るモデルの核は水路網となる。しかし、これらを同時に付設して、かつ水路網における水位や流量を計算できるモデルの開発が、我国では極めて遅れており、実用化されているものは皆無である。我国の低平地の内水被害は、前述したように広大な低平地を遊水地（湛水深、浸水面積）とみなしていたことに起因する。仮に、その観点から床下浸水までを遊水効果に含ませたとしても、速やかに集水する山水の量的把握と排水施設（機械排水）の施設設計が緻密な水理計算のもとで行われなければならない。現在のところ、予測モデルの不備もあり、湛水位を床下浸水と設定し、機械排水で水管理を行うことは困難である。以上のように、現在までの我国の治水計画は、極論すれば河道（排水容量）への依存度が余りにも強かったために、低平地の内水排除に必要不可欠な機械排水と水路網（遊水地も含めて）を組み合わせた低平地独自の排除システム及び水理モデルの確立が遅れたとも言える。

5. 効率的な内水対策を行うための具体的事例

ここでは内水排除諸対策の具体的事例として、土地利用の適正化、遊水機能の活用、自然排水の強化策など提示するとともに、その効果について述べる。

5. 1 河川・水路（クリーク）等の貯留効果

佐賀低平地における、ある平均的な土地改良事業区（圃場整備）を選定し、その耕地面積とクリーク（用水路）面積を求めると、各々141ha、17haとなる。このことから、クリーク・河川の面積率は概ね12%と見積られる。用水路の利用水深（管理水深）は田面下1mとされており（図-6参照）、この利用水深（管理水深）から上部の空間部分を雨水貯留用として利用することを前提として、その容量を降雨に換算して求めると、120mm（クリーク面積率 $0.12 \times 1\text{m}$ ）の降雨をクリークに貯留できることが分かる。この結果から

みると、用水路（排水路の役目も兼ねてはいる）の貯留効果に加えて、何等かの補助的放流、すなわち排水路としての活用が可能となれば、内水排除に関しては、さらに効果的な対策と考えられる。しかし、農業用水路を活用した排水を行うには、農業用水としての確実な水量確保およびそのルール化（具体的には治水施設と農業用水施設の一体化ならびにそれらの操作規則等）が前提となる。現状の施設・管理基準では困難なことが多いが、今後低平地の内水対策として有望と考えられ、検討を継続することが必要である。

5. 2 山水分離水路¹⁾

山地からの流出は、斜面を流下し低平地部へ湛水する。この低平地への流下量を内水域に入る前にカットし、機械排水の負担を少しでも軽減させるために、図-7に示すように自然排水可能な位置（標高）に放水路を設置することも有効な対策として考えられる。佐賀低平地のある小内水地区を選定し、山水分離水路を設置した場合の治水効果について検討を

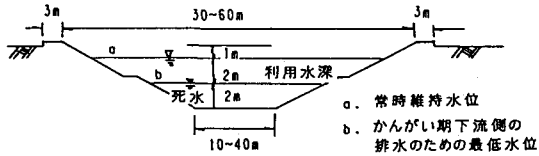


図-6 幹線クリーク横断面図

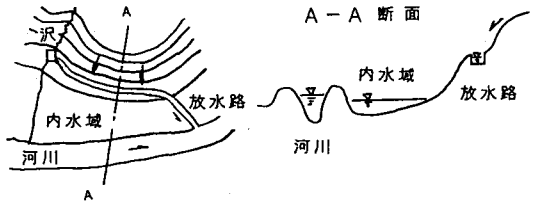


図-7 山水分離方式概念図

表-4 施設事業費

施設計画	事業費(百万円)			計
	規模	放水路	ポンプ	
放水路	1/30	856	504	1,360
+ポンプ	1/10	787	—	787
ポンプのみ	1/30	—	1,800以上	1,800以上
	1/10	—	684	684

加えた。治水効果を家屋浸水の防御で評価し、その結果を表-4に示す。事業費でみると、洪水規模（非超過確率1/10年）ではポンプ排水のみの方がコスト的に有利となり、洪水規模（非超過確率1/30年）ではポンプと放水路の組み合わせによる排水システムの方が廉価のようである。ポンプのみによる排水の場合、設置後の運転費が必要であることを考慮すると、本例の場合は山水を分離する放水路を設置した方が有利と考えられる。佐賀低平地の大部分を占める広範囲な内水地域に対して、一般的な対策と言えないが、ある限られた小内水地区の排水計画には有効なものと考えられる。

6. 総合水管理からみた低平地高水・内水対策の位置付けと課題

これまでに述べたように、低平地域の高水・内水対策は、基本的には総合的水管理の観点に立って考えることが重要である。ここで定義される「総合水管理」とは、決して治水事業のみを表すものではない。現在、この低平地には種々の水対策が講じられ、その代表として農業用水事業がある。総合水管理とは、例えば、この治水事業と農業用水事業を一体化して全流域を対象として、短期かつ長期的に見て「水」の管理を行うことと定義される。厳密には水の管理は「水量」と「水質」とからなるが、佐賀低平地においては、内水被害が頻発に生じている現状を考慮すると、水量に関するものが先行されなければならないであろう。また、佐賀低平地域では農業が主体であるために、農業用水の確保と供給が重要であり、治水、特に内水による被害を低減させるためには、オランダの例でも見られるように水路網の活用が必要不可欠である。しかし、我国の場合、年間降雨量が多いこと、梅雨期には集中的な降雨が多いことなどから、オランダの内水排除あるいは総合水管理システムに比べて、より厳しい条件が課せられているとも言える。今後の課題として、河川改修や桶管等の整備は当然のことながら、内水排除に対して効果的であるとされている昔ながらの水管理手法の見直し、農業用水路の排水路としての活用とルール化などが掲げられ、それらを水系ネットワークとして位置付けた時の排水・遊水機能を評価し得る水理モデルの構築が緊急に進められなければならない。さらには多発している内水被害の現状に鑑み、現在までの降雨パターンを内水排除の面から解析し、内水被害をもたらしている要因を適正に抽出するとともに、現在までに生じた被害の低減率を評価の対象とすることも重要である。要するに、地域住民からみて水害が減少したことを実感させるような対策が講じられなければならない。また、近年注目を集めている地球温暖化現象（海面上昇）と低平地域の総合水管理は互いに無縁のものではないことにも留意しておかなければならない。すなわち海面上昇によって感潮域が遡上するため、低平地からの排水条件はより厳しくなることが予想される。加えて異常気象に起因する集中豪雨による被害の発生率が高くなる可能性があることにも十分配慮しなければならない。地球温暖化に伴う水文現象、水資源、潮位変動などに及ぼす影響については、未知な部分が多いので慎重な検討が必要であるが、少なくとも現在深刻な問題を抱えている低平地域の将来計画を考える際には、より厳しい検討課題と言えよう。「水資源の確保」と「内水排除」という相反する問題を同時に解決しなければならない問題が、海面上昇に伴って今後益々重要になり、ひいては低平地における総合水管理の重要性が増して行くものと思われる。

【謝辞】本研究の遂行にあたり、多大なる御協力を頂きました、建設省武雄工事事務所の方々に深く感謝いたします。

【参考文献】1) 権藤幸彦・遠田勝美・古賀憲一：内水対策における山水分離方式の治水効果について、佐賀大学理工学部集報，Vol.20,1992