

内水対策システムに関する研究

伊 藤 秀 夫*

Studies on a Countermeasure System for Interior Flood Trouble

By Hideo Ito*

Synopsis: Interior flooding is a complicated new problem that has come about because of the construction of flood control systems, as well as the development of river flood control works, the growth of society, urbanization, etc. There are several countermeasures now in use: drainage pump, drainage channel, sluice ways, retarding basin, etc. The interrelationships of these separate systems must be clarified and incorporated into a system.

Individual countermeasures should also be developed to maximum efficiency. The degree of interior flood damage is relative to rainfall conditions, surface earth conditions, outer water level etc. Countermeasure system for interior flood trouble is influenced by the coefficient K of storage function of open channed net works, size of sluice way, size of drainage pump etc.

On the cost-benefit ratio used to judge criterion for the countermeasure system, its optimum system should be decide with the expected value in probability density for rainfall conditions.

For example, we picked out a frequently flooded part of the upper basin of River Neyagawa and studied optimum countermeasure against intervior flood trouble based on the methods explained above. (experimental area $A=1.22 \text{ km}^2$).

要旨: 内水災害は、治水対策の進展と社会的発展によってもたらされた、補雑な要素を含んだ災害と云える。

内水対策には、種々な要素例えば排水路、遊水池、樋門、排水ポンプなどが入って来るので、まずこれらの相互関係を明らかにし、各対策を組合せてシステム化しこのシステムの最適値を持って個々の内水対策の規模と考えている。内水発生規模は降雨条件から始めて、地表の状況、外水位の状況などによって違ったものになる。従って降雨条件については確率的要素を入れ、地表面の状況については、主として地表面に設置される排水路網の平面積 a と流域面積 A との比 a/A と貯留係数 K との関係でとらえてその影響をシステムに入れ、その他に樋門の大きさ、ポンプの大きさなどの排水路条件についてもシステムに組入れている。

また内水対策システムの評価基準としては便益、費用比を用い、不確定要素と考えられる降雨に対しては、確率密度を用いた期待値によって内水対策システムの適正な規模をきめる根拠としている。

そして寝屋川流域の内水災害の常襲地の具体的事例について検討を加えて、その内水対策の適正な規模について論じている。

第1章 概 説

内水災害は、治水対策の進展と、社会的発展によってもたらされた複雑な要素を含んだ災害といえる。

これの解決には、内水が治水にしめる位置、最近問題になってきている環境問題、住民問題¹⁾ 既設の施設をどうするかなどの問題が含まれているので、現実的実情をふまえた上での対策を考えなければならないが、本論文では施設対策に主眼をおいた解決策をとっている。

我が国における治水は、計画流量を流すに足る流過断

面を水理学的に計算してきめ、堤防を築き、洪水はできるだけ早く海に流すのを良しとし、狭い国土を充分活用するために、洪水を河道内で処理するようにしてきた。この治水対策は、今までの社会状況、技術水準からは充分目的を果してきたといえよう。

しかし、我が国の高度成長にともなって起ってきた都市化、工業化は地下水のくみ上げなどによって地盤沈下を招き、堤防にかこまれた地域はさらに低くなってあらわれてきた。

この一つの事例が内水災害といえよう。この内水対策に取り組むためには、内水を治水上どう考えていくか、どの程度まで内水を防止するのが良いのか、環境に対す

* 土木工学科教授、工学博士
Professor, Civil Engineering Division. Dr. of Engineering.

る問題をどう処理するかなどの問題が含まれているが、本論文においては、内水対策を内水災害を受けている地域の問題として、地域内において解決策を考えている。

内水対策には、いろいろな要素が入ってくるので、これらの相互の関係を明らかにし、各対策が相互依存関係に有機的に関連し合った形に結び、その適正化をはかるためには、システム化して考えるのが合理的な考え方である。

内水の発生は、降雨条件から始って、地表の状況、外水位の状況などによって、お互いの関連性がそれぞれ違ったものになる。

この中、降雨条件については、確率的要素が強く、人為的に左右できないが、地表の状況について、地表面に開水路網を設置したり、田畑を宅地にかえたり、或いは遊水池、公園を作ったりして、人為的に変化を与えることが出来る。

これら地表面の変化について、粗度係数の概念を導入してあらわした T. E. Harbaugh and Ven Te Chow²⁾ の研究がある。

この研究は、地表面上の変化を粗度係数 N' であらわし、これを連続方程式と運動方程式に入れることによって、地表面の変化による流出現象を解明したものであり、 N' は実験によれば、降雨強度、水深、雨滴の大きさ、雨滴の落下速度などの関数としてあらわされることを述べているが、実験中の地表面の水深が極めて小さいため、雨滴による衝撃がより強く流出に影響を与えるなど、現実的でない点及び開水路網の特性についての研究が充分でないで、これをシステム内の流出に結びつけるのは困難である。

このため、本論文では、開水路平面積 a が、全流域面積 A との比と、貯留係数 K の関係でとらえて、内水対策の基本となる開水路網の効果について検討を加えている。

また、内水対策システムを考えるのに、どんな効果基準によってシステムを考え、どんな理論的アプローチをとるか考えるために、まず内水対策システムの体系化を図り³⁾、ついで内水対策施設の中で良く用いられている開水路網とポンプ排水との組合せの適正な値を求めるために、まず評価基準について考察し、便益・費用比率によって計算するのが適当であることを述べている。

また、不確定要素と考えられる降雨に対しては、降雨の時間分布、連続降雨量、降雨継続時間などの確率密度をかけた期待値を計算し、これによって内水対策システムの適正な規模をきめる根拠として、具体的事例について検討を加えている。

第2章 内水対策のシステム的手法

内水対策のシステム化を図るためには、まず降雨による流出量に対して内水対策を考えることになるが、その中には、逆流堤、排水路、ポンプなどの諸施設と、人口流入の抑制、地盤沈下抑制のための地下水のくみ上げ、埋立て高、宅居形式の変更、下水道の完備などの施設対策が考えられる。

内水対策の終極の目的と考えられるのは被害の減少であるが、被害減少のための諸施設、諸対策は、実現可能であることは一つの前提であって、これに経済性、環境に対する適合性などについての配慮をし、これら諸対策全体をきめる必要がある。

このため、諸対策の相互の関連性を明らかにするために、図-1のようなシステム図を作った。

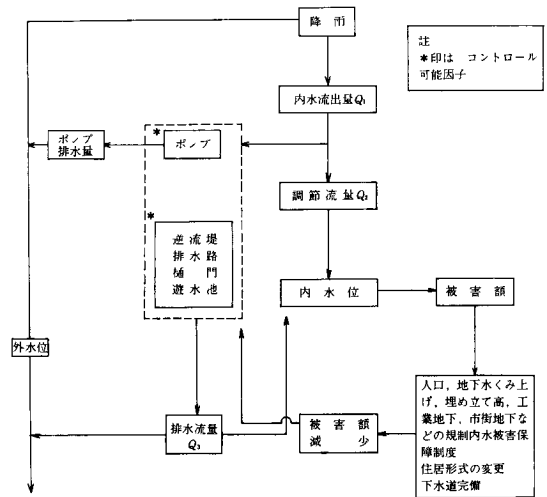


図-1 内水対策計画システム図

図-1で、降雨及び外水位は確率的要素を多分に含んだコントロールの困難な因子であり、逆流堤、排水路、ポンプ、遊水池、樋門は制御可能な因子と考えている。

コントロール困難な因子については、今後の進歩によって、例えば、都市再開発、移転、降雨制御などの可能性があり、また、外水位の人為操作の可能性もあるが、これらによるシステムの変更は、本論文では考慮していない。

また、内水の諸対策の中では、諸施設によって解決をはかっているのが多く、諸施設の中でも、排水路、ポンプ、樋門の組合せによるものが大半をしめているのが現状であり、今後、このような施設によって、さらに内水対策が進められるであろう。

しかし、システムの中には、現実の問題として組入れられない因子、対策もあって、問題点も多く、今後の研究にまたねばならない点もあるので、それら考慮されなかった問題点についてもふれている。

第3章 内水対策システムの評価基準

システムの効果を評価するために、基準となるものを必要とするが、一般に効果を把握するための判定基準はつぎの4つに大別される。すなわち、目的によって判定する任務分析、システムとして有しななければならない機能によって判定する機能分析、さらに経済性を基本とした費用分析、効果分析などである。

これらの中で、システムの規模を定量的にきめるためには、経済を重視した経済効率性をとることになるので、この考え方について次に述べる。

3-1 内水対策システムの経済効率

経済効率の考え方は、従来から経済学の分野において研究されているが、この考え方の原理は、民間企業の投資計画の収益性の評価基準にみることができる。

最近では、道路、ダム、河川などいわゆる建設事業の投資基準についても、この考えを入れて計画を立案している例が多く、その時に用いられる評価基準は、通常次の3つの型に分類される⁴⁾。

- (1) 費用一定としたときに、効果が最大になるものを選択する場合。
- (2) 効果のある水準に固定したとき、費用が最小となるものを選択する場合。
- (3) 費用も効果も共に変数と考える場合。

これら分類の中で、(1)の方法は費用一定、有効度最大の基準であって、効果度に対する要求に比較して予算の制約が強いとき、または、予算が他の事情から先にきまっていて、その範囲内で最善をねらうときには有効な基準である。

(2)の方法は、経済的節約の立場からのアプローチであって、費用有効度分析で良く用いられる評価基準である。

(3)の方法は、費用に対する制限も、効果に対する制限もなく、変数として取り扱われる場合であって、この場合、民間企業の投資計画の収益性の評価基準としては、利益率、利益額、回収期間などがあり、公共部門の計画評価に用いられる主要な基準には、率を考える方法として、例えば、便益・費用比率、内部収益率、投資利益率などがあり、額を考える方法として、例えば純現在価値、純終価値、費用一定の条件下での便益、便益一定の条件下での費用などがある。

内水対策システムは、費用、効果いずれも変数として

使うため、(3)の評価基準とする。

このため、これらの評価基準の中、主なものの特性について次に述べる。

(a) 便益・費用比率

この基準は、便益・費用比が大きいものを選択するという考え方であって、費用と便益を現在価値に直して比率を取る場合と、 n 年後の費用と、便益の終値に直して比率を取る場合、費用と便益の等額年金に直してお互いの比率を取る場合などにわけられるが、費用と便益を現在価値に直して比率を取る場合が一般に用いられる。

(i) 現在価値を用いた便益・費用比率

経済的な耐用年数 n について、各年の費用を c_t 、同じく便益を b_t 、割引率を r として便益の $t=0$ における現在価値 B は、

$$B = \frac{b_1}{(1+r)} + \frac{b_2}{(1+r)^2} + \frac{b_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{b_n}{(1+r)^n}$$

また、費用の現在値 C は、

$$C = c_0 + \frac{c_1}{(1+r)} + \frac{c_2}{(1+r)^2} + \frac{c_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{c_{n-1}}{(1+r)^{n-1}}$$

となり、便益・費用比率は、 B/C となる。

n 年後の経済的耐用年数経過後残存価値 S が残っているとすれば、その現在価値 $\frac{S}{(1+r)^n}$ を B に加算することになる。

(ii) 終価値を用いた便益・費用比率

n 年後の便益の終値を B_{TV} 、費用の終値を C_{TV} とすれば、

$$B_{TV} = b_1(1+r)^{n-1} + b_2(1+r)^{n-2} + \cdots + b_n$$

$$C_{TV} = c_0(1+r)^n + c_1(1+r)^{n-1} + \cdots + c_{n-1}(1+r)$$

となり、便益・費用比率は B_{TV}/C_{TV} となる。

(iii) 等額年金を用いた便益・費用比率

便益の等額年金を \bar{b} 、費用の等額年金を \bar{c} とすると \bar{b} 、 \bar{c} はそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} \bar{b} &= \frac{b_1}{(1+r)} + \frac{b_2}{(1+r)^2} + \frac{b_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{b_n}{(1+r)^n} \\ &= \frac{b_1}{(1+r)} + \frac{b_2}{(1+r)^2} + \frac{b_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{b_n}{(1+r)^n} \\ \therefore \bar{b} &= \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \left[\frac{b_1}{(1+r)} + \frac{b_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{b_n}{(1+r)^n} \right] \\ \bar{c} &= \frac{c}{(1+r)} + \frac{c}{(1+r)^2} + \frac{c}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{c}{(1+r)^{n-1}} \\ &= c_0 + \frac{c_1}{(1+r)} + \frac{c_2}{(1+r)^2} + \frac{c_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{c_{n-1}}{(1+r)^{n-1}} \\ \therefore \bar{c} &= \frac{r(1+r)^{n-1}}{(1+r)^n - 1} \left[c_0 + \frac{c_1}{1+r} \right. \\ &\quad \left. + \frac{c_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{c_{n-1}}{(1+r)^{n-1}} \right] \end{aligned}$$

与えられ、この場合の便益・費用比率は、 \bar{b}/\bar{c} となる。

この便益・費用比率の特徴は、割引率を如何にとるか

によって、便益・費用比率の値がかなり変化することである。すなわち、比較的高い割引率を採用した場合には、便益が長期にわたって徐々に増大していく計画については、相対的に不利になり、逆に便益が早期に発生する計画は、相対的に有利になる場合があるが、投資を前提とした計画で、便益と費用との間に大きな差がある場合は、便益・費用比率によって、比率の最も良いものを採用することになる。

(b) 純現在価値

便益の現在価値と、費用の現在価値との差を、純現在価値というが、一般には超過便益とよばれるもので、その値の大きさが計画の望ましさが評価される。

便益の現在価値を B 、費用の現在価値を C とすれば

$$\text{純現在価値} = B - C$$

となる。

この純現在価値による場合は、同一内容をもったものを比較するのに良い方法であって、許容投資額がわかる利点があるが、種々内容をもった計画の比較には適当でない。

(c) 純終価値

便益の終価と、費用の終価との差を純終価値といって、その額の大小で計画の望ましさが評価される。

$$\text{純終価値} = B_{TV} - C_{TV}$$

となる。

一般に、公共投資については、投資された資金は、後年発生する便益から回収される性格を有しないので、公共投資の場合、純終価値をとるのは適当でない。

(d) 内部収益率

便益の現在価値と、費用の現在価値を等しくするような割引率を内部収益率といって、その率の高さが計画の望ましさが評価され、内部収益率 R は、次式で与えられる。

$$-c_0 + \frac{b_1 - c_1}{(1+R)} + \frac{b_2 - c_2}{(1+R)^2} + \cdots + \frac{b_{n-1} - c_{n-1}}{(1+R)^{n-1}} + \frac{b_n}{(1+R)^n} = 0$$

この基準は、便益・費用比率で、大きな問題とされる適切な割引率の決定という理論的に困難な課題を回避できる利点があるが、 R の n 次方程式の根を求めることになり、一般に n 個の根が得られ、その何れを計画の正しい内部収益率とするか困難である。

さらに基本的な問題としては、財政支出のように、必ずしも費用が便益の中から回収されないものの、ある場合には、費用を回収するという仮定にたった収益率の計算には問題が残る。

(e) 投資利益率

計画の投資額とその純便益との比率を指し、その率の大小で計画が評価されるが、便益に平均値をとることによって、便益の時間値を考慮していない所に欠点がある。

また、初期投資に対する効率をみる考えであるので、維持、運営費用が計画から発生する収入の中からまかなわれる民間企業については基準になりえても、維持、運営費用が計画の便益からまかなわれず、毎年の財政資金の中から支出される一般公共計画については、適当な基準とはいえない。

(f) 投資回収期間

投資から発生する便益（維持、運営費を控除後）の累積額が、その投資額に達するまでの期間を指し、その期間の長さで計画を評価するものである。

いま、投資額を K とし、毎年の収入と維持、運営費用支出が一定で、それぞれ b, m とすると、回収期間 T は、

$$T = \frac{K}{b - m}$$

で求められ、これは投資利益率の逆数になる。

回収期間は、他の方法に比べて、不確実な将来について最も短かい期間を考えれば良く、際限なく長い期間を考えるという重荷がないという利点がある。

一般に、将来の不確実性が大きいほど、回収期間は投資評価の重要な尺度となる傾向にあるが、欠点として第1に、回収期間後の収益が無視されること、第2に、単純な回収期間は、収入の時間価値を考慮していないこと、第3に、計画間の優先順位づけは可能であるが、その計画を採択すべきか否かの決定に際し、基準となるべき値が求められないことである。

また、この基準を一般の公共計画に適用する場合には、投資利益率の場合と同様に、初期投資のみの効率を取り扱っている点に問題がある。

以上、評価基準の選択使用にあたっては、各基準の特性や長短を充分考慮して使用すべきであるが、その選択に関しては、一般的に次のことがいえる。すなわち、民間企業の投資計画の評価に良く用いられるのは、内部収益率、投資利益率、回収期間であるが、この基準は、一般公共計画の評価基準としては、問題がある。一般公共計画の評価基準としては、現在価値を用いた便益費用比率、純現在価値が、今まで述べた特徴から適当である。

内水対策システムは、公共性の強い計画であり、このシステムは異なる内容をもった要素からなり、投資を前提とした計画で、便益を費用との間に差のある場合も考えられるため、現在価値を用いた便益・費用比率を評価基準とするのが適当と考えた。

しかし、便益の算出は不確定要素が多く、この中、特

に期待損失を如何に見込むか、むずかしい問題である。

このような不確実性に対する解決は、不確実性に対する確率がわからぬ場合は、費用を大きめにし、便益を小さくすること、割引率を大きくすること、計画達成期間を短くすることなどが考えられるが、不確実な事象に対する客観的確率分布がわかっている場合には、確率を入れた期待効果を求めることが客観的な解決方法と考えられる⁵⁾。

このため、本論文では便益・費用比率に基準をおいた内水対策施設の組合せと、不確定要素と考えられる降雨分布に対しては、その確率密度をかけて期待値を求め、これによって対策施設のシステム化をはかった。

以上、内水対策システムの規模を定量的にきめるには、経済効率性に立脚した評価基準によって適否を判断することになるが、対策の効果は、被害防除額の大きさによって定まってくるので、次に被害防除効果について述べる。

3-2 内水対策システムによる被害防除効果

内水対策の効果をきめるには、まず被害額の定量化が必要である。

内水の被害は、大きく分けると、直接被害と間接被害にわけられる。直接被害の中には、農作物、家屋、一般公共施設被害、工場の生産品の使用不能による被害などがある。

農作物被害の中には、水稻、畑、果樹、桑などがあるが、これらは浸水深、浸水時間などによって、被害の程度が違って来る特徴がある。

しかし、家屋被害についていえば、浸水時間にあまり関係なく、浸水深が床上か床下かによって、被害の大きさが違って来る。

家屋被害をだすためには、一般には氾濫地内の家屋評価額調査、家計財産標準被害調査など調査して、被害額を推定している。

また、公共施設の橋、道路、用排水施設、通信施設などについては、今まで良く研究されている。

しかし、内水被害を起こす地域は主として、排水の悪いところであるので浸水時間も一般に長く、このため衛生上の被害、交通不能による営業停止、人心に与える影響、不労働被害が起ってくるなど、間接的被害が大きいと考えられる⁶⁾⁷⁾。

ここでいう間接被害とは、内水による直接的財産資産、或いは生産物の損失、人命の損失を除く全てであり、その種類は多岐にわたる。

そこで、間接的被害を大きく分類すると、次の3点に集約されるであろう。

(1) 産業の生産力の低下による波及的被害。

(2) 交通施設の損壊による波及的被害。

(3) その他(不労働被害、伝染病、心理的被害…)

これら、直接被害の中で(3)の形に現われない不労働による被害及び心理的被害の中、前者についていえば、内水氾濫によって起った交通途絶による不労働被害額の算定は、不労働日数に1日当りの賃金をかけて求め、また後者の心理的被害は、生活をエンジョイする時間当りの単価を出して、エンジョイ出来なかった時間をこれにかけて被害額とし、さらに、交通不能による営業被害については、交通が不能でなかった場合の一日当りの標準売上額に不能日数をかけて被害額を考える。また、衛生被害については、回復に要した医療費、不労働費用及び消毒の費用とするなど、間接被害の算定に当っては、これらを充分考慮しなければならない。

次に、(2)の交通施設の損壊による波及的被害については、交通施設が内水によって被害を受けた場合の間接的被害の発生状況の予測は、極めて困難であるが、その理由は次の通りである。

a) 輸送の途絶によって影響を受け易い生鮮食料品は極めて季節性が強く、その季節、月によって被害は大きく異なる。

b) 代替交通施設の有無などの地域特性によって、その被害は異なり、一般化が困難である。

c) 輸送不能期間に対して、その間接被害は非線形の関係にあり、その関数型は、地域、施設の種類などによって異なる。

以上の理由から(2)の定量化には、多くの問題があるため、今後の研究に待たねばならない。

(1)の産業の生産力の低下による波及的被害については、次のような2通りのケースが考えられる。

すなわち、生産力低下によって製品の価格上昇を招き、それが他産業に影響を与える場合と、生産力の低下によって、製品の不足を招き、他産業に直接影響を与える場合である。

勿論、これらの2者の影響がない程、小規模な災害に関しては、先に述べたように、製品及び施設の直接的被害量のみで計測すれば良いことになる。

そこで、ここでは、前記の2ケースについて考察を加えた。

a) 製品価格の上昇

生産力の低下による製品価格の上昇は、その被害の規模、製品の種類によって大きくその度合を異にする。

一般に、需給に見合った製品の供給が1割減少すると、価格は2割上昇し、2割減少で5割上昇、3割減少で10割上昇するといわれているが、厳密には、ある製品の供給力が低下した場合、どれだけ価格が上昇するかを定量

表-1-1 産業連関による一次波及被害計算

被害業種	③の生産減少額 1日 2,559万円 0.5日 1,779万			⑥の生産減少額 1日 3,671万円 0.5日 1,836万			⑦の生産減少額 1日 11万円 0.5日 6万			⑧の生産減少額 1日 645万円 0.5日 323万			⑩の生産減少額 1日 15万円 0.5日 8万			計	
	投入 係数	1日	0.5日	投入 係数	1日	0.5日	投入 係数	1日	0.5日	投入 係数	1日	0.5日	投入 係数	1日	0.5日		
中間投入																	
① 農林水産業	0.064	164	82	0	0	0	0	0	0	0.001	1	1	0.092	1	0	166	83
② 鉱業	0.010	26	13	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0.002	0	0	26	13
③ 製造業	0.461	1180	590	0.040	147	74	0.162	2	1	0.204	132	66	0.320	5	3	1,466	733
④ 建設業	0.002	5	3	0.020	73	37	0.006	0	0	0.008	5	3	0	0	0	83	42
⑤ 電力・ガス水道	0.012	31	16	0.008	29	15	0.012	0	0	0.014	9	5	0.024	0	0	69	34
⑥ 商業・金融保険、不動産	0.057	146	73	0.091	334	167	0.048	1	1	0.064	41	21	0.096	1	0	523	262
⑦ 運輸業	0.021	54	27	0.032	118	59	0.139	2	1	0.017	11	6	0.036	1	1	186	93
⑧ サービス業	0.032	82	41	0.054	198	99	0.024	0	0	0.059	38	19	0.079	1	1	319	159
⑨ 公務	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
⑩ 分類不明	0.027	69	35	0.004	15	8	0.004	0	0	0.026	17	9	0	0	0	101	51

的に把握することは困難である。勿論，古典経済学におけるような供給曲線が明らかにされている場合には，供給に対する価格（均衡消費価格）を求めることが出来る。

しかし，実際に理論どおりに価格が推移することは考えられず，さらに供給曲線なるものが厳密に求まるとは思われない。

b) 生産力の低下による波及被害

産業の製品には，必ず在庫が存在するが，内水による生産減が在庫で処理出来る範囲内に納まる場合には，波及は殆んど考慮しなくて良いが，内水によって，産業が他産業の在庫水準を上廻る被害が生じた場合に，問題が深刻となる。

また，この産業間の波及構造は，極めて複雑であり，ある産業製品の供給額の低下から，直接他産業の生産額の減少を個別に求めていくことは困難である。

そこで，本論文では，この複雑な波及構造を最も良く表わし，産業間の連関構造から全産業への影響を同時に把えうる産業連関分析⁸⁾を用いた。

この産業連関表の基本構造は，次の表-1-2のようになっている。

表-1-2 産業連関表

投入	産業部門	計	最終需要	移入	輸入	総生産額
産出	中間投入部門					
産業部門						
計						
付加価値						
総生産額						

ここで，投入係数行列（技術係数） A を定義すれば，次のとおりである。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & a_{22} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & a_{ij} & \cdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{ここで} \\ n: \text{産業部門数} \end{array}$$

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} = \frac{j \text{ 産業に投入される } i \text{ 産業製品の額}}{j \text{ 産業への全投入額}}$$

この投入係数行列 A を導入すれば，この産業連関表 (1) 式のような基本バランス式によって示される。

$$AX + F - M - N = X \quad (1)$$

(1) の式で移入ベクトル N ，輸入ベクトル M が産業間の中間投入に比例すると考えると (2) 式のようになる。

$$\left. \begin{array}{l} M = \bar{M} \cdot AX \\ N = \bar{N} \cdot AX \end{array} \right\} \quad (2)$$

(2) 式を (1) 式に代入すれば

$$X = AX + F - \bar{M} \cdot AX - \bar{N} \cdot AX \quad (3)$$

さらに，(3) 式を変形すれば次のようになる。

$$X = [I - (I - \bar{M} - \bar{N})A]^{-1}F \quad (4)$$

ここで，

A : 投入係数行列， F : 最終需要ベクトル

X : 生産額ベクトル， I : 単位行列

\bar{M} : 輸入係数行列， \bar{N} : 移入係数行列

(4) 式からわかるように，産業連関分析は，投入構造 A 及び輸入，移入構造 \bar{M} ， \bar{N} を既知とし，最終需要を正確に示してはいるが，需要主導型の分析であるために，供給力の低下による波及構造を，精密に反映することには，次のようになる。

いま、ある工場が内水によって浸水被害を受けた場合に、その被害ベクトルを P 、被害を受けた在庫ベクトルを P_0 とすれば、浸水被害による供給不足ベクトル ΔP は、次の (5) 式のようになる。

$$\Delta P = P - P_0 \quad (5)$$

浸水被害による波及被害 D は、(6) 式のようになる。

$$D = X - X' \quad (6)$$

ここで、 X = 被害前の総生産額

X' = 被害後の総生産額

従って、内水による生産力低下の間接的な被害を含めた波及被害 D は、最終需要ベクトルを F とすれば、(7) 式のようになる。

$$D = X - X' = (F - F') + (I - \bar{M} - \bar{N})A(F - F') + (I - \bar{M} - \bar{N})^2 A^2(F - F') + \quad (7)$$

ここで、 F' は、内水によって起った需要減退ベクトルを除いた最終需要ベクトルであり $(F - \Delta P)$ を用いる。

(7) 式の右辺第一項は、一次的波及被害、第2項以下は、2次、3次……の波及被害をあらわす。

いま、内水による波及被害を10業種に分類し、浸水時間が半日の場合と一日の場合について、モデル地域の現地資料を用いて、まず、直接被害額を計算した。

つづいて、1次波及被害は、直接被害額に投入係数をかけ、モデル地域の浸水被害による1次波及被害額を表-1-1のように計算した³⁾。

さらに、2次、3次……の全産業に対する波及被害は、1次波及被害に $[I - (I - \bar{M} - \bar{N})A]^{-1}$ をかけて求めることになる。

(1) 1日の浸水による波及被害額の計算

$$= \begin{bmatrix} 1.00884 & 0.00094 & 0.00807 & 0.00188 & 0.00031 & 0.00028 & 0.00062 & 0.00096 & 0.00000 & 0.01035 \\ 0.00026 & 1.00025 & 0.00152 & 0.00212 & 0.01574 & 0.00023 & 0.00043 & 0.00044 & 0.00000 & 0.00081 \\ 0.14387 & 0.10554 & 1.24176 & 0.25445 & 0.02184 & 0.03714 & 0.09212 & 0.11598 & 0.00000 & 0.17566 \\ 0.00798 & 0.00695 & 0.00537 & 1.00338 & 0.03307 & 0.02268 & 0.00862 & 0.01067 & 0.00000 & 0.00471 \\ 0.00518 & 0.00687 & 0.01759 & 0.00818 & 1.11695 & 0.01036 & 0.01489 & 0.01825 & 0.00000 & 0.02932 \\ 0.04877 & 0.09960 & 0.07576 & 0.07787 & 0.02989 & 1.09763 & 0.05772 & 0.07624 & 0.00000 & 0.11263 \\ 0.00861 & 0.00725 & 0.01078 & 0.01576 & 0.01044 & 0.01343 & 1.05114 & 0.00857 & 0.00000 & 0.01648 \\ 0.00919 & 0.02877 & 0.04501 & 0.03345 & 0.03407 & 0.06040 & 0.03144 & 1.06773 & 0.00000 & 0.09100 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.01113 & 0.02254 & 0.01502 & 0.00739 & 0.01688 & 0.00311 & 0.00344 & 0.01349 & 0.00000 & 1.00373 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 166 \\ 26 \\ 1466 \\ 83 \\ 69 \\ 523 \\ 186 \\ 319 \\ 0 \\ 101 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 167.47 & 0.24 & 11.84 & 0.16 & 0.02 & 0.14 & 0.12 & 0.31 & 0 & 1.04 \\ 0.04 & 26.01 & 2.22 & 0.18 & 1.08 & 0.15 & 0.08 & 0.07 & 0 & 0.82 \\ 23.87 & 2.74 & 1820.42 & 21.12 & 1.50 & 19.35 & 17.13 & 18.44 & 0 & 17.68 \\ 1.31 & 0.18 & 7.92 & 83.28 & 2.28 & 11.86 & 1.60 & 1.70 & 0 & 0.47 \\ 0.86 & 0.18 & 25.80 & 0.68 & 77.07 & 5.39 & 2.75 & 2.89 & 0 & 2.96 \\ 8.10 & 2.59 & 111.08 & 6.46 & 2.06 & 573.73 & 10.73 & 12.08 & 0 & 11.37 \\ 1.43 & 0.19 & 15.80 & 1.30 & 0.72 & 7.01 & 195.50 & 1.35 & 0 & 1.66 \\ 1.53 & 0.75 & 65.97 & 2.78 & 2.35 & 31.59 & 5.84 & 169.65 & 0 & 9.19 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.83 & 0.59 & 21.99 & 0.61 & 0.21 & 1.62 & 6.32 & 2.13 & 0 & 1.01 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 181.34 \\ 30.65 \\ 1942.55 \\ 110.60 \\ 121.58 \\ 738.20 \\ 224.96 \\ 289.65 \\ 0 \\ 36.31 \end{bmatrix} \quad (8)$$

=3,675.54万円

(2) 半日の浸水による波及被害額の計算

$$= \begin{bmatrix} 1.00884 & 0.00094 & 0.00807 & 0.00188 & 0.00031 & 0.00028 & 0.00062 & 0.00096 & 0.00000 & 0.01035 \\ 0.00026 & 1.00025 & 0.00152 & 0.00212 & 0.01574 & 0.00023 & 0.00043 & 0.00044 & 0.00000 & 0.00081 \\ 0.14387 & 0.10554 & 1.24176 & 0.25445 & 0.02184 & 0.03714 & 0.09212 & 0.11598 & 0.00000 & 0.17566 \\ 0.00798 & 0.00695 & 0.00537 & 1.00338 & 0.03307 & 0.02268 & 0.00862 & 0.01067 & 0.00000 & 0.00471 \\ 0.00518 & 0.00687 & 0.01759 & 0.00818 & 1.11695 & 0.01036 & 0.01489 & 0.01825 & 0.00000 & 0.02932 \\ 0.04877 & 0.09960 & 0.07576 & 0.07787 & 0.02989 & 1.09763 & 0.05772 & 0.07624 & 0.00000 & 0.11263 \\ 0.00861 & 0.00725 & 0.01078 & 0.01576 & 0.01044 & 0.01343 & 1.05114 & 0.00857 & 0.00000 & 0.01648 \\ 0.00919 & 0.02877 & 0.04501 & 0.03345 & 0.03407 & 0.06040 & 0.03144 & 1.06773 & 0.00000 & 0.09100 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.01113 & 0.02254 & 0.01502 & 0.00739 & 0.01688 & 0.00311 & 0.00344 & 0.01349 & 0.00000 & 1.00373 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 83 \\ 13 \\ 733 \\ 42 \\ 36 \\ 262 \\ 93 \\ 159 \\ 0 \\ 51 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 83.73 & 0.01 & 59.15 & 0.08 & 0.01 & 0.07 & 0.06 & 0.15 & 0 & 0.53 \\ 0.02 & 13.00 & 1.10 & 0.09 & 0.54 & 0.06 & 0.04 & 0.07 & 0 & 0.04 \\ 11.94 & 1.37 & 909.65 & 10.69 & 0.74 & 9.75 & 8.57 & 18.43 & 0 & 8.96 \\ 0.66 & 0.09 & 3.94 & 42.14 & 1.13 & 5.93 & 0.80 & 1.70 & 0 & 0.24 \\ 0.43 & 0.09 & 12.90 & 0.34 & 37.97 & 2.71 & 1.38 & 2.89 & 0 & 1.48 \\ 4.05 & 1.29 & 55.54 & 3.27 & 1.02 & 287.57 & 5.37 & 12.08 & 0 & 5.71 \\ 0.71 & 0.09 & 7.90 & 0.66 & 0.35 & 3.51 & 97.74 & 1.35 & 0 & 0.84 \\ 0.76 & 0.37 & 32.99 & 1.40 & 1.16 & 15.72 & 2.88 & 168.54 & 0 & 4.64 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.91 & 0.29 & 11.00 & 0.31 & 0.57 & 0.81 & 0.32 & 2.15 & 0 & 51.15 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 143.09 \\ 14.96 \\ 980.10 \\ 56.63 \\ 73.33 \\ 375.90 \\ 113.15 \\ 228.46 \\ 0 \\ 67.51 \end{bmatrix} \quad (9)$$

=2,053.13万円

以上の計算結果から、1日、半日の浸水による全産業への波及被害は、直接被害の生産減少額 6,901 万円、3,952 万円に対して、それぞれ 3,676 万円、2,053 万円となり、間接被害は、社会的見地から定量化がむづかしい要素を含んでいるが、今後、間接的被害は、投資の優先順位の判定の指標となり、定量化された効果を同一とするならば、その指標の大きい方に優先的に投資されることになる。

また、効果の中には、防除効果のほかに、その2次の効果として起ってくるが、これらについても定量化はむづかしく、今後の研究にまたねばならないが、その一つの指標と考えて投資の判定に利用されることになる。

第4章 内水対策システムの適正值計算事例

システムモデルの適正值をきめる方法は、問題の性質によってもその手法は違ってくるが、一般的には線型計画法、非線形計画法などがある。

この解法は、①目的関数と制御変数に関する制約条件式を求め、これらを解析的に解く数値計画法、②システムそのもの、或いはシステムのシミュレーター、または、数学的モデルについて、試行錯誤的に各制御変数を変化させ、それに対して目的関数を最大または最小にする制御変数値を求める試行法とに大別される⁹⁾。

内水対策システムでは、線形要素が少いため、非線形計画法によって、適正值を求めなければならないので、次に内水対策システムの適正值計算手法について述べる。

4-1 内水対策システムの適正值計算手法

内水対策の組合せの中で、良く用いられているのは、都市域では、完全排水を目的とした開水路と、ポンプの組合せをとり、都市と農地の混合域では用排水路とポンプの組合せ、または、地盤勾配が急な場合は、開水路と逆流堤の組合せが主として考えられる。

内水対策をシステム化するに際しては、降雨現象、開水路の水利、ポンプ特性など非線型の要素が多いため、内水対策システムの適正值は非線型の適正值の問題になるが、この解析方法については、最近いろいろな方法が研究されている。

内水対策システムのように、制約条件のない単峰性評価関数の適正值計算手法として、山登り法が広く用いられている。

等式、不等式の制約条件をもつ場合も Kuhn Tucker の定理を利用して評価関数に含ませ、ラグランジュ乗数と変数に対して鞍点を求める問題にすれば、山登り法も適用できる。

この山登り法には、評価関数が関数形であらわせる場合には、最急傾斜法、Paralle Tangent 法、共役勾配法、

Fletcher Powell 法、Complex 法などがあるが⁹⁾、関数形がはっきりあらかわせない場合には、繰返し手法によって適正值を求めることになる。

内水対策システムは関数形がはっきり数式であらわせないで、次のような手順によってシステムの適正值を求めた。すなわち、内水対策は投資するという前提で、ポンプ、開水路費用と被害防除額を考えた便益・費用比計算を進めた。

いま、与えられた降雨に対し、開水路など堤内施設規模 y_1, y_2, \dots, y_n とし、これらの単価を $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ とすると、コスト Z は (10) 式のようにになる。

$$Z(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot y_j \quad (10)$$

便益は、水文操作を含めた流出計算を行なって、最高水位を求め、この水位を用いて水位・被害額曲線から堤内施設による被害軽減額を計算し、これを便益 $B(y_1, y_2, \dots, y_n)$ とすれば、便益、費用比 f は (11) 式のようにになる。

$$f(y_1, y_2, \dots, y_n) = \frac{B(y_1, y_2, \dots, y_n)}{Z(y_1, y_2, \dots, y_n)} \quad (11)$$

この被害軽減額と投資額の比を最大にする組合せをもって適正值と考える。

この適正值を求める方法は、降雨に対するパラメーターを x_1, x_2, \dots, x_n とし、排水路、ポンプなど、内水対策施設のパラメーターを y_1, y_2, \dots, y_n と考えると、便益、費用比は、 $f(y_1, y_2, \dots, y_n)$ となる。

次に、この便益・費用比を最大にする $y_j (j=1 \dots n)$ の組合せを求めるために、山登り法を適用することになるが、この方法の前提として単純なピークが存在が必要である。この関係は、後に計算事例によってのべた。

これらに関数形でかくと、次の式のようにになる。

$$\begin{aligned} A_1 &= f(y_{1M}, y_2, \dots, y_n) \\ &= \text{MAX} [f(y_1, y_2, \dots, y_n): y_1=0 \sim \infty] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= f(y_{1M}, y_{2M}, y_3, \dots, y_n) \\ &= \text{MAX} [f(y_{1M}, y_2, \dots, y_n): y_2=0 \sim \infty] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_n &= f(y_{1M}, y_{2M}, \dots, y_{nM}) \\ &= \text{MAX} [f(y_{1M}, y_{2M}, \dots, y_{(n-1)M}, y_n): y_n=0 \sim \infty] \end{aligned}$$

上記数列 A_j が収束しなければ、同様の手続きを収束するまでくりかえすことによって適正值を求める。

また、システムに入ってくる入力の不確定性のものについては、確率変数を導入してシステムの信頼性を高めることが必要である。

この不確定性のもとでの目的関数の適正化がシステムの適正值になり、この適正化には、次の3つの場合が考えられる。すなわち、(1) 確率最大値を求める方法、

(2) 最小分散値を求める方法, (3) 期待値を求める方法などである。

(1) の方法は, 既往の実績から推定して, その確率の最大値をとる方法であるが, この方法をとると, 経済性を無視した計画になる場合が多い。

(2) の方法は, 望ましい目標値との分散の期待値を最小にする計画であるが, 目標値が明らかでない場合は適用が困難である。

(3) の方法は, 不確定性のものについては確率変数と考えた期待効用の最大化である。

これは, 目標値がはっきりしないものに対して, 確率的にも経済的にも適正な値を示す。

さて, 内水対策に対して, システムの適正化をはかる場合には, 小さな洪水に対しても, また, 大きな洪水に対しても, 有効であることが必要であり, 氾濫によって人命が直接失なわれた場合は少ないので, 経済性を重視して洪水の発生確率を考えた期待値を求めるべきであると考えられる。

もし, 各対策が個々に分離できるものであれば, 個々の期待効果の比較, すなわち, 確率分布の形と, 大きさと, 効用の積分値を求め, これの比較によってその優劣が定ってくる。

しかし, 内水システムにおいては, 各対策を分離して比較することは, システムの観点からは機能的に不充分であり, 分離しては考えられない。確率分布を加味した期待値の考えは, 将来においても起るであろう予測値を入れたもので, 不確定性を除いた確定モデルに近いものである。

施設の組合せの適正な値の計算は, 非線形性の強いものであるので, その適正な値は, 山登り法によって試算的に求めることになる。

いま, 内水対策のシステムの中のインプットは, 降雨になるが, この降雨を不確定要素として確率的に扱って, 個々の降雨に対する適正対策と確率密度関数を与えることによって, 適正な施設を求める方法を取った。

降雨要素として連続雨量, 連続雨量分布形を考えて, これを x_1, x_2 として, これらの確率密度関数を $P_1(x_1), P_2(x_2)$ と考え, 排水路, ポンプ, 遊水池, 逆流堤などの能力を表わすパラメーターを y_1, y_2, y_3 とし, 任意の x_1, x_2 の組合せに対して, 便益・費用比を最大にするように, $y_1, y_2, y_3 \cdots y_n$ の最適値を求める。このとき, $y_j (j=1 \cdots n)$ は, $y_{jM}(x_1, x_2) (j=1 \cdots n)$ をとるものとすれば, 期待される各対策施設は次のように表わされる。

$$E[y_j] = \int_0^1 \int_0^\infty P_1(x_1) \cdot P_2(x_2) \cdot y_{jM}(x_1, x_2) dx_1 dx_2 \quad (12)$$

(12) 式は, (13) 式のような和の形に直して計算する。

$$E[y_j] = \sum_{x_2=0}^{x_2=1} \sum_{x_1=0}^{x_1=\infty} P_1(x_1) \cdot P_2(x_2) \cdot y_{jM}(x_1, x_2) \cdot \Delta x_1 \cdot \Delta x_2 \quad (13)$$

次に (13) 式を使用した計算事例について述べる。

4-2 内水対策システムの適正値計算事例

内水対策システムの適正な値は (12) 式を解くことによって求められるが, この式を使用するには連続雨量, 連続雨量分布形の確率密度 $P_1(x_1), P_2(x_2)$ の分布と $y_{jM}(x_1, x_2)$ の値に単一の解が存在し, かつ山登り法によって求められるか, 実際のデータによって確認しなければならない。

すなわち, $P_1(x_1), P_2(x_2)$ などの総雨量及び時間分布型については, 降雨開始後の初期損失が凡そ 40~50mm で流出に関係しないこと, 洪水を対象として考えているため 50 mm 以下の小さい降雨は洪水の対象にならず, かつ, 数多く際限ないとの理由から, 連続雨量 50 mm 以上を対象に, 大阪気象台明治29年から昭和42年までの降雨資料から拾って, その数 319 例について降雨継続時間確率密度, 連続降雨量の確率密度および時間降雨重心の確率密度などについて調べた結果を表-2, 3, 図-2~5 にあらわした。

これから, 降雨重心の確率密度は凡そ正規分布となるが, 降雨継続時間および連続降雨量の確率密度は, 非対称分布に近いことがわかった。

つぎに $y_{jM}(x_1, x_2)$ の値を寝屋川試験地区について求めるために, 大阪気象台の降雨資料から降雨量, 降雨重

表-2 降雨継続時間及び連続降雨量確率密度計算

降雨継続時間確率密度(大阪)			連続降雨量確率密度(大阪)		
降雨継続時間(T)	頻度	確率密度(F)	降雨量(R)	頻度	確率密度(F)
h	回	%	mm	回	%
0~5	9	3	41~50	10	3
6~10	15	5	51~60	110	34
11~15	46	14	61~70	68	20
16~20	61	19	71~80	40	12
21~25	62	19	81~90	18	6
26~30	44	14	91~100	15	5
31~35	35	11	101~110	18	6
36~40	20	6	111~120	5	2
41~45	13	4	121~130	3	1
46~50	7	2	131~140	12	4
51~55	5	2	141~150	4	1
56~60	1	0.5	151~160	5	2
61~65	—	—	161~170	4	1
66~70	—	—	171~180	3	1
71~75	1	0.5	181~190	1	0.5
計	319	100	191~200	1	0.5
			201~210	1	0.5
			211~220	—	—
			221~230	—	—
			231~240	1	0.5
			計	319	100

表-3 時間降雨重心距離確率密度計算

降雨量別時間降雨重心 (大阪)							降雨継続時間別時間降雨重心 (大阪)						
降雨量mm 重心位置	0~57	確率密度(F)	58~75	確率密度(F)	76~	確率密度(F)	継続時間(T) 重心位置	0~18	確率密度(F)	19~26	確率密度(F)	27~	確率密度(F)
	回	%	回	%	回	%		回	%	回	%	回	%
0.21~0.25	—	—	1	1	2	2	0.21~0.25	2	2	—	—	1	1
0.26~0.30	—	—	3	3	—	—	0.26~0.30	3	2	—	—	—	—
0.31~0.35	2	2	2	2	4	4	0.31~0.35	2	2	3	3	4	4
0.36~0.40	2	2	8	7	6	5	0.36~0.40	7	6	3	3	7	6
0.41~0.45	12	14	5	4	4	4	0.41~0.45	8	7	5	6	8	7
0.46~0.50	10	12	9	7	12	11	0.46~0.50	11	9	8	9	11	10
0.51~0.55	14	17	17	14	23	21	0.51~0.55	14	12	15	17	25	22
0.56~0.60	14	17	25	21	18	16	0.56~0.60	21	18	14	16	22	20
0.61~0.65	11	13	22	18	19	17	0.61~0.65	14	12	22	25	17	15
0.66~0.70	7	8	16	13	11	10	0.66~0.70	14	12	17	8	12	11
0.71~0.75	7	8	7	6	7	6	0.71~0.75	10	9	6	7	5	4
0.76~0.80	3	4	4	3	3	3	0.76~0.80	6	5	4	5	—	—
0.81~0.85	1	1	—	—	—	—	0.81~0.85	1	1	—	—	—	—
0.86~0.90	—	—	1	1	1	1	0.86~0.90	1	1	1	1	—	—
0.91~0.95	1	1	—	—	—	—	0.91~0.95	1	1	—	—	—	—
0.96~1.00	1	1	—	—	—	—	0.96~1.00	1	1	—	—	—	—
計	85	100	120	100	110	100	計	116	100	98	100	112	100

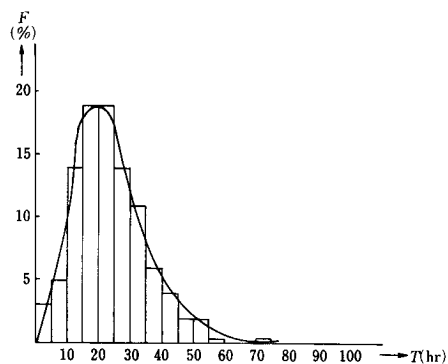


図-2 降雨継続時間 (T) の確率密度分布

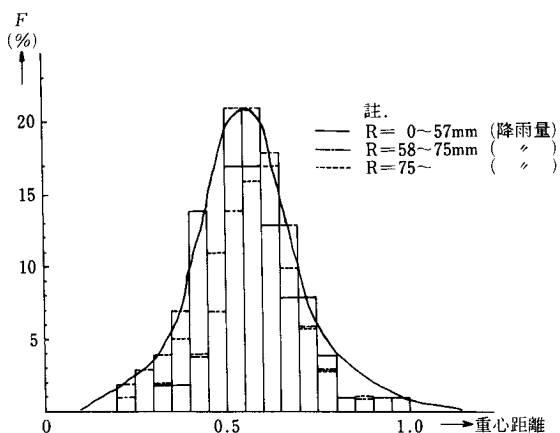


図-4 連続降雨量別時間降雨重心距離確率密度分布

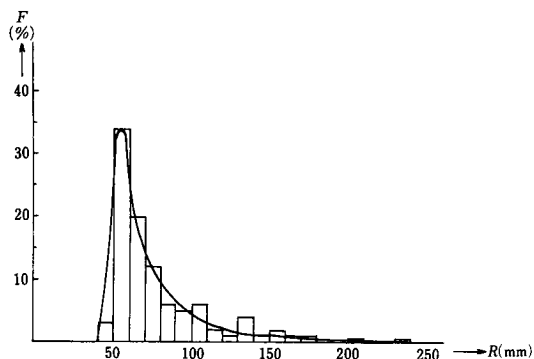


図-3 連続降雨量 (R) 確率密度分布

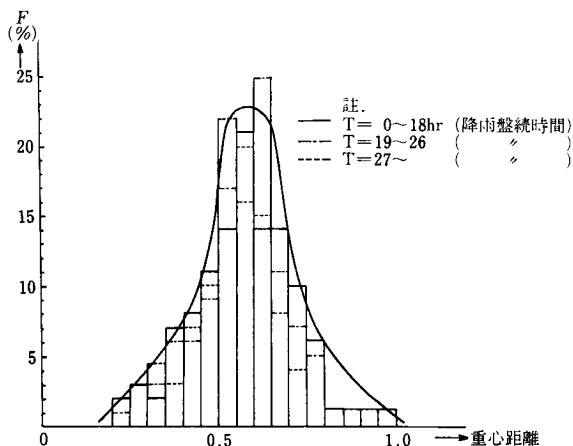


図-5 降雨継続時間別時間降雨重心距離確率密度分布

表-4 各出水別降雨量，降雨継続時間，降雨重心時間関係表

出年月日 R T t t/T	明治41年 10月15日	大正8年 7月5日	大正13年 9月12日	昭和10年 6月29日	昭和32年 7月10日	昭和34年 11月2日	昭和36年 10月26日	昭和40年 9月17日	昭和44年 7月8日	備 考
R (mm)	77.0	50.8	51.0	207.3	72.4	121.8	150.0	75.8	65.0	ここで R=連続降雨量 (mm)
T (hr)	24.0	19.0	9.0	34.0	6.0	14.0	51.0	17.0	25.0	T=降雨継続時間 (hr)
t (hr)	19.0	7.1	7.0	13.0	2.2	9.8	30.9	8.8	14.5	t=降雨重心時間 (hr)
t/T	0.79	0.37	0.78	0.38	0.37	0.70	0.61	0.52	0.58	

心時間分布のパラツキを考えた降雨を表-4のように9ケース選定し，外水位として，寝屋川本川との合流点猪鼻橋の本川流出量を $Q = \int_0^{\infty} \beta e^{-\beta \tau} r(t-\tau) d\tau$ を用いて求め，この地点の水位—流量曲線を推定して，この曲線から

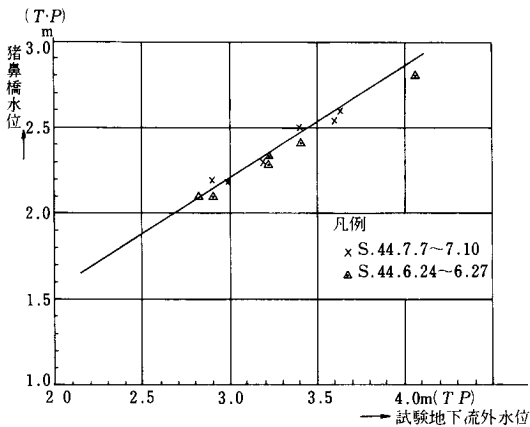


図-6 猪鼻橋（寝屋川本川）—試験地下流水位相関図

ら水位に直し，さらに猪鼻橋地点水位と試験地下流の既往外水位との水位相関図-6を用いて，9ケースの試験地下流部の外水位を求めた。

また，試験地内の降雨による流入量の計算は，国土館大学工学部紀要第11号 p. 62 における方法による。また内水位の算定は，開水路排水の効果を見つけたすために，流出条件に従って，次の仮定のもとに計算した。

- (1) まず流域に降雨があった場合，国土館大学工学部紀要第11号に述べた変換関数による流出がなされるものとし，これにポンプの排水容量を加えたものが流域よりの排水量と考える。
- (2) 降雨による流域への流入量と上記の排水量との差を内水として流域に貯留されるものとする。
- (3) 水位—湛水量曲線には，流域内の開水路に貯留される量を考慮する。図-7に流域内の主な横断面図，図-8に水位—湛水量曲線を示す。
- (4) ポンプ排水量は，内水位と外水位の差をもって揚程と考え，図-9に示す揚程—流出量曲線を用いる。

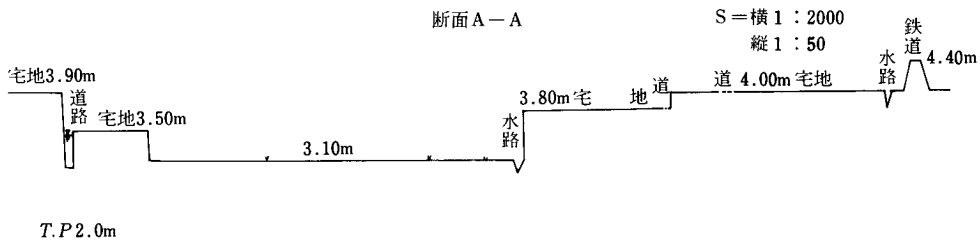


図-7-1 寝屋川流域試験地区横断面図

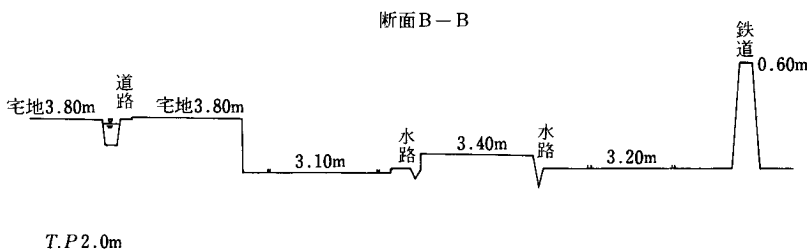


図-7-2 寝屋川流域試験地区横断面図

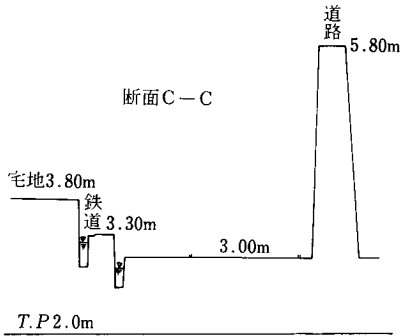


図-7-3 寝屋川流域試験地横断面図

以上の極門，ポンプ操作による電子計算機の内水位計算手順は図-10の通りであり，図-10に従って，9ケースの降雨による試験地内の流入量を計算し，その結果を図-11～図-19に示した。その結果よりすれば，同一降雨に対して縦方向開水路平面積 a と，流域面積 A との比 a/A の大きさによって流出流量に大きな差が生じてくることがわかる。

次に流出計算によって求められた内水位のピーク水位から，水位—被害額曲線図-21を用いて被害額を求め，開水路，ポンプがない場合の被害額との差から被害軽減額を算定した。

また，開水路単位平面積当りの建設事業費は，淀川左

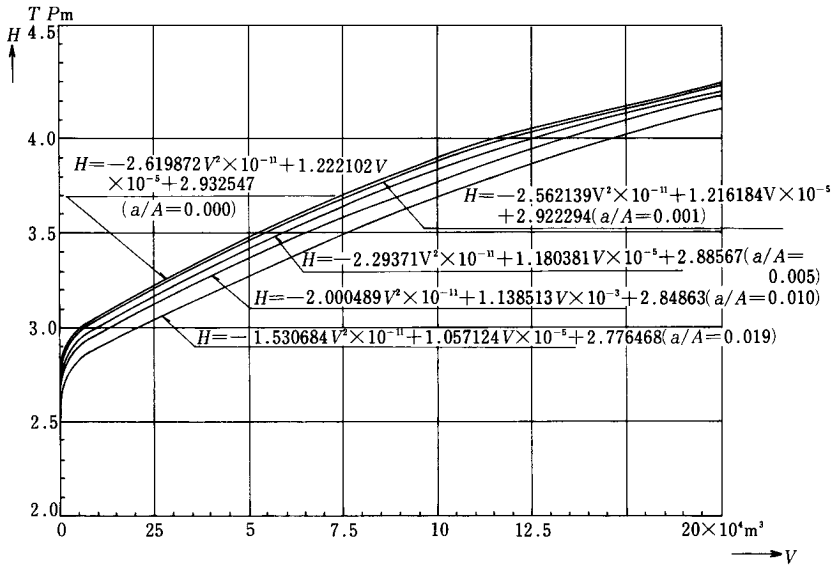


図-8 水位 (H)—湛水量 (V) 曲線図

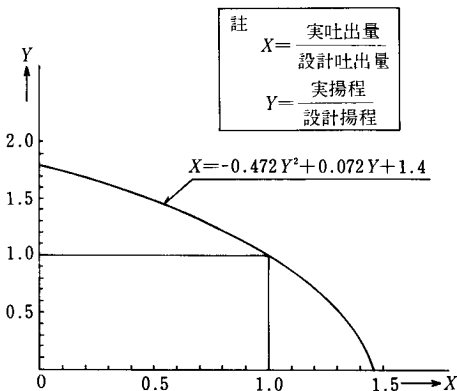


図-9 ポンプ揚程—吐出量図

岸土地改良区¹⁰⁾での例を参考にして2.19万円/m²とし，ポンプ単位容量当り総事業費 U は大旦川¹¹⁾の例を参考にした図-20を用いて求めた。

また，各事業の年平均費用の算定は(14)式を用いた。

$$\bar{c} = I \left\{ \bar{r} + \frac{\bar{r}}{(1+\bar{r})^{n-1}} \right\} = I \cdot R \quad (14)$$

ここで，

\bar{c} : 年平均費用 \bar{r} : 利子率

I : 建設事業費 $R: \bar{r} + \frac{\bar{r}}{(1+\bar{r})^{n-1}}$

n : 耐用年数

いま， $\bar{r}=0.06$ とし，コンクリート構造など土木施設の耐用年数を50年，ポンプなどの機械施設の耐用年数を20年とすれば，開水路事業の R は， $R=0.634$ となるが，

ポンプ施設については、機械施設と土木施設の両者を含むと考えて、耐用年数50年と20年について、それぞれ R を求め、その平均値として $R=0.716$ とした。年平均維持費は、治水経済要綱¹²⁾に従って総事業費の0.5%として各ポンプ容量、開水路面積の組合せによる年平均維持費を求め、その和を表わすと表-6のようになった。

なお、水位一被害額曲線図は次のようにして求めた。すなわち、 $\alpha_j(z)$ を、各種々別直接被害額とすれば、各種別戸数 c_j 、各種別被害単価 K_j 、各種別被害率 $\delta_j(z)$ から、

$$\alpha_j(z) = C_j \cdot K_j \cdot \delta_j(z) \quad (15)$$

ここで、

z : 氾濫水深

したがって、総被害額 $D(z)$ は

$$D(z) = \sum_{j=1}^n \alpha_j(z) \quad (16)$$

この被害額は氾濫地内の状況によって、家屋被害、公共土木施設、農業施設被害、農作物被害及び営業停止被害、その他の間接被害にわけられるので、これらを別々に求めなければならない。

i) 一般資産（家屋、家計、事業所、農家の償却資産在庫品など）の被害一般資産の水深の規模による被害率は、建設省の調査によれば、表-7のようであって、一般資産額に水深の規模による被害額をかけて被害額とした。

ii) 公共土木施設（道路、橋梁等）及び農業用施設（農地・用排水路・共堰等）被害

公共土木施設、農業用施設の被害額は、原形に復旧する費用を持って被害額とする。

古い既往洪水による被害は、現在の価額に直す

ために工事指数（表-8）をかける。

iii) 農作物被害

農作物については、稲であれば、その時期、湛水時間、水質などによって、その被害が変わってくるので、これらの要素による水稻被害率を求め、これから被害額を推定する。

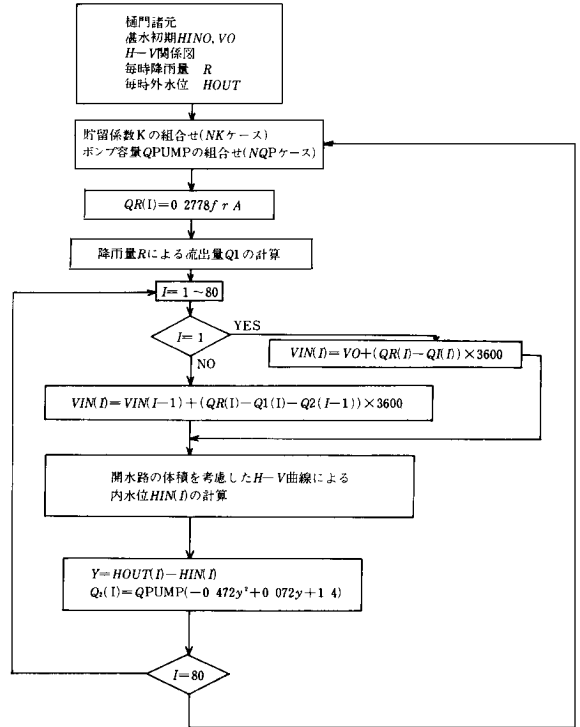
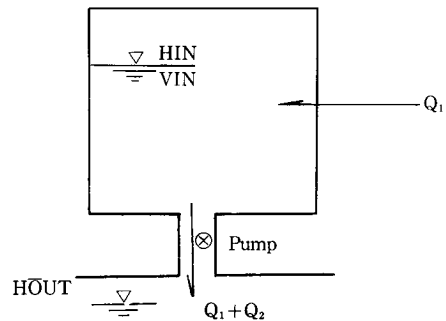


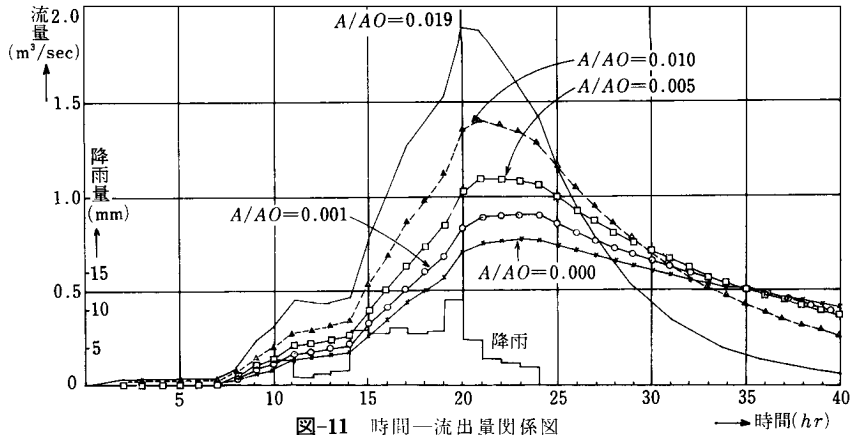
図-10 内水位計算フローチャート

表-5 フローチャート記号説明

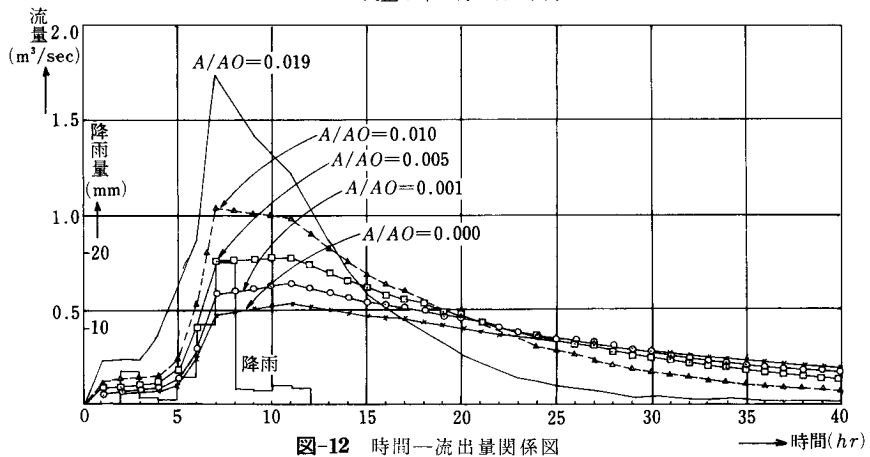
記 号	説 明
HIN	内水位 (T.P・m)
HINO	内水位初期値 (T.P・m)
HOUT, HOUT	外水位初期値, 外水位 (T.P・m)
VIN	湛水量 (m³)
VINO	湛水量初期値 (m³)
H	H-V相関の水位 (T.P・m)
V	" 湛水量V (m³)
R	降雨量 (mm)
f	流出係数
KO, KD, K	初ケースの貯留係数, キザミ, 貯留係数
NK	Kのケース数
I	時間ステップ数
QR	降雨による流入量 (m³/sec)
QPUMPO, QDPUMP, QPUMP	初ケースポンプ容量, キザミ, ポンプ容量 (m³/sec)
NQP	QPUMPのケース数
Q20, Q2	排水流量の初期値, ポンプ排水流量 (m³/sec)
UG	タンクモデル応答関数
QI	開水路面積をパラメーター
y	ポンプ揚程 (m)
AAO	開水路面積/流域面積



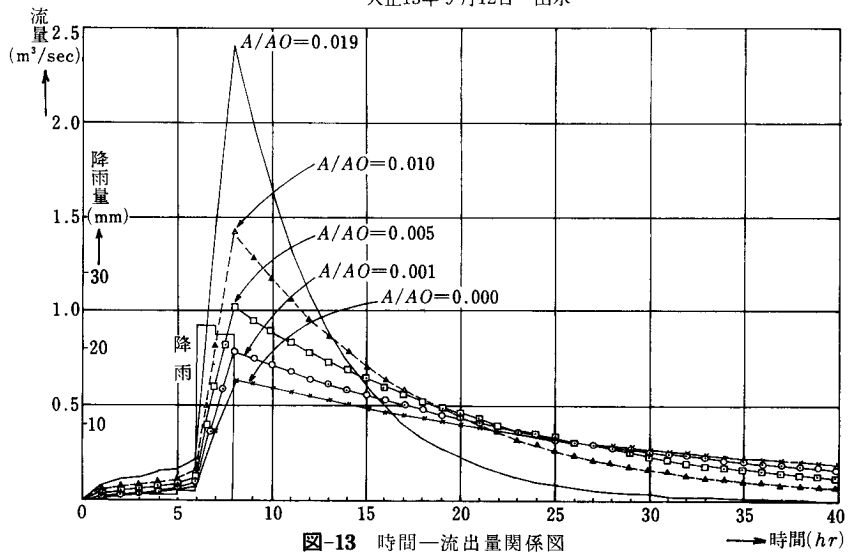
明治41年10月15日 出水



大正8年7月5日 出水



大正13年9月12日 出水



昭和10年 6月29日 出水

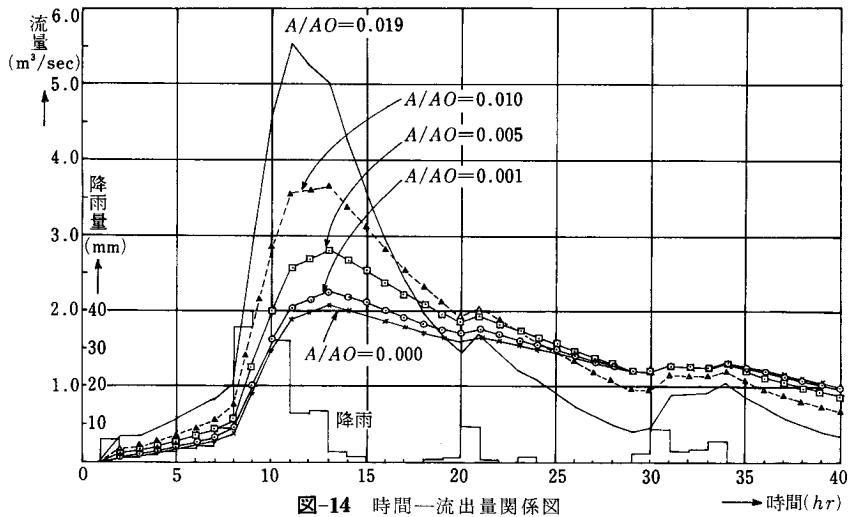


図-14 時間一流出量関係図

昭和32年 7月10日 出水

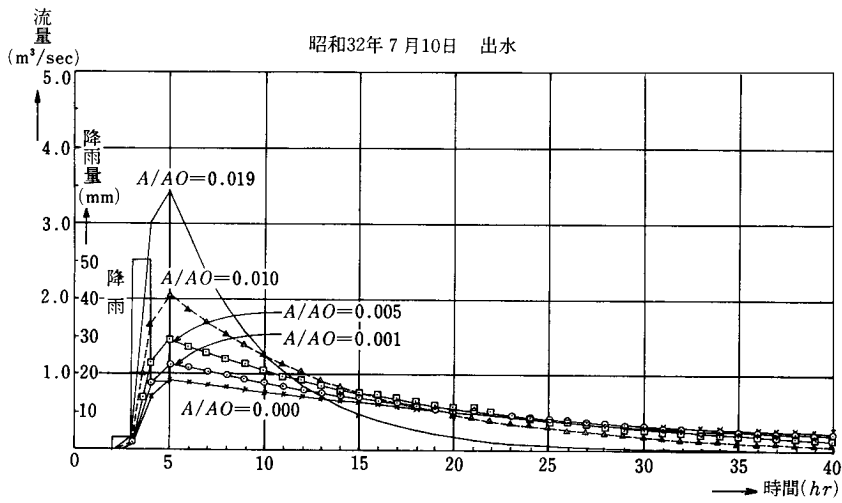


図-15 時間一流出量関係図

昭和34年 11月2日 出水

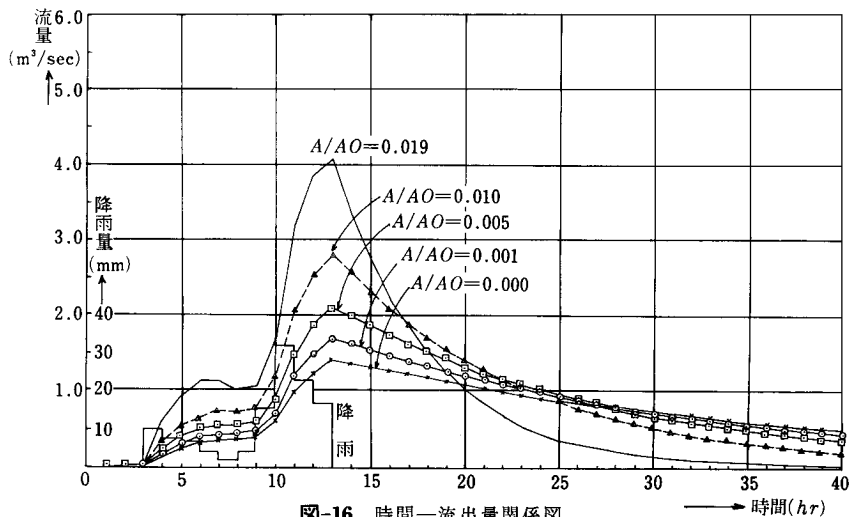


図-16 時間一流出量関係図

昭和36年10月26日 出水

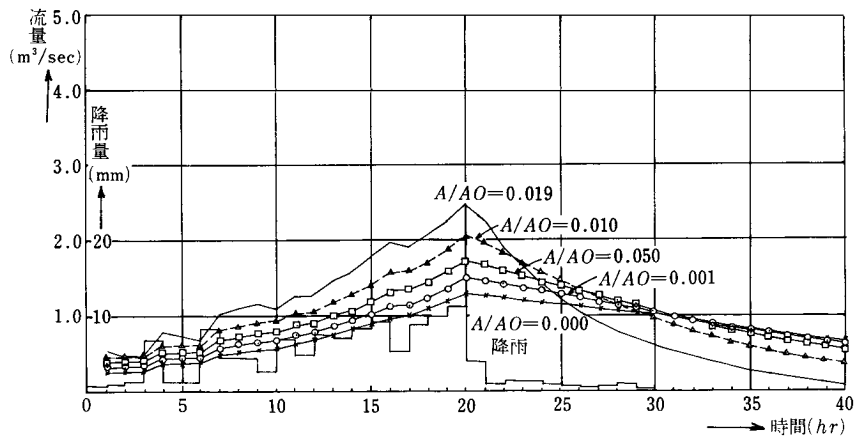


図-17 時間—流出量関係図

昭和40年9月17日 出水

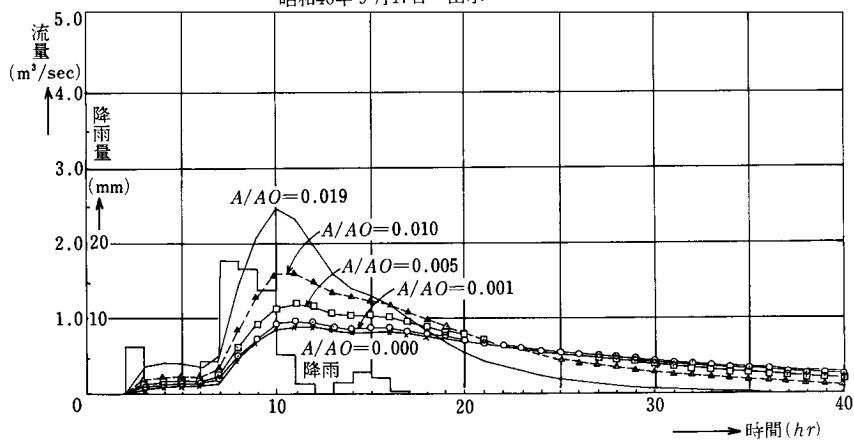


図-18 時間—流出量関係図

昭和44年7月8日 出水

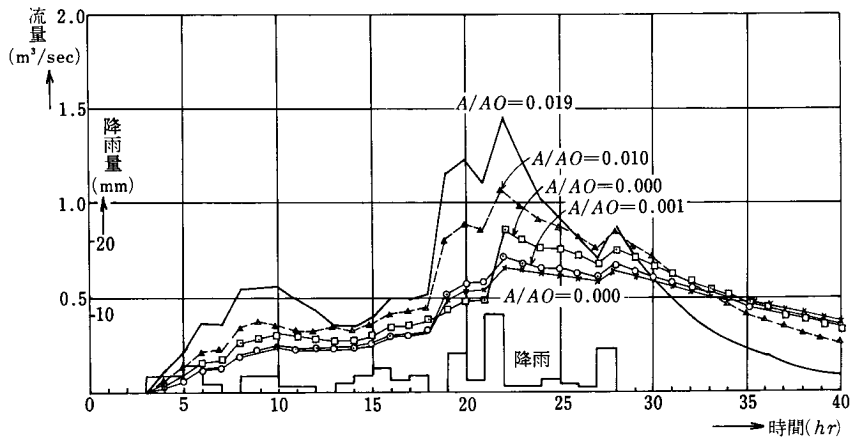


図-19 時間—流出量関係図

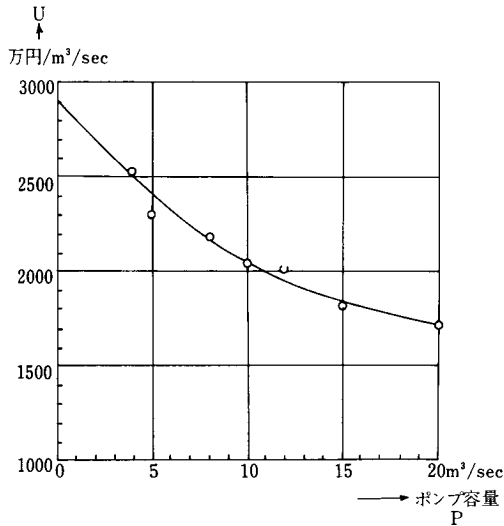


図-20 ポンプ量—ポンプ施設建設事業費単価

畑作物は、種類によっては冠水した場合、皆無として被害額は表-9を用いて計算する。

家屋被害は、住宅を大・中・小の3段階にわけて、住宅大の家屋については1戸当り270万円、家計財産を180万円、住宅中については1戸当り200万円、家計財産を130万円、住宅小については1戸当り150万円、家計財産を100万円と仮定し、事業所の億却資産及び在庫品については、1事業所当り、それぞれ3000万円、2000万円と仮定し、航空写真から家屋、事業所を調べて、表-10、表-11のように計算し表-11を図-21のようにあらわした。

また、開水路面積と流域面積の比 a/A と a/A に対する K の値を縦軸に、横軸にポンプの排水容量 P を取って、ポンプと開水路の組合せによる被害額及び被害軽減額を表-12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28のように求めた。さらに、開水路、ポンプの組合せの各ケースについて、

表-6 ポンプ量・開水路の組合せによる年費用（開水路・ポンプ維持費） 単位：億円

ポンプ容量 (m³/sec) a/A	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
0.019	0.347	0.409	0.469	0.529	0.590	0.643	0.699	0.751	0.805	0.855	0.906	0.955	1.002	1.050
0.010	0.182	0.245	0.305	0.365	0.422	0.479	0.534	0.587	0.640	0.691	0.742	0.790	0.838	0.885
0.005	0.092	0.155	0.214	0.274	0.332	0.388	0.444	0.496	0.550	0.600	0.651	0.700	0.747	0.795
0.001	0.018	0.081	0.140	0.200	0.258	0.314	0.370	0.422	0.476	0.526	0.577	0.626	0.673	0.721
0.000	0.000	0.063	0.112	0.182	0.240	0.296	0.352	0.404	0.458	0.506	0.559	0.608	0.655	0.703

ポンプ容量 (m³/sec) a/A	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1
0.019	1.096	1.142	1.184	1.226	1.268	1.309	1.347	1.387	1.427	1.467	1.502	1.537	1.573	1.609
0.010	0.932	0.977	1.020	1.061	1.104	1.144	1.182	1.223	1.263	1.302	1.338	1.372	1.409	1.444
0.005	0.843	0.904	0.930	0.971	1.012	1.053	1.091	1.132	1.172	1.211	1.246	1.281	1.317	1.353
0.001	0.768	0.813	0.856	0.897	0.939	0.980	1.017	1.058	1.098	1.138	1.173	1.208	1.244	1.280
0.000	0.750	0.795	0.838	0.879	0.921	0.962	0.999	1.040	1.080	1.119	1.155	1.190	1.226	1.261

表-7 一般資産被害率一覧表

浸水等の規模 資産種類等		床下浸水	床上浸水					土砂堆積 (床上)	
			50cm未満	50cm～99	100cm～199	200cm～299	300cm以上	50cm以上	50cm以上
家屋 (木造+非木造)	Aグループ	0.03	0.053	0.072	0.109	0.152	0.220	0.43	0.57
	Bグループ		0.083	0.126	0.177	0.266	0.344		
	Cグループ		0.124	0.210	0.308	0.439	0.572		
家庭用品 事業所 農漁家	用 品		0.086	0.191	0.331	0.499	0.690	0.50	0.69
	償却資産		0.180	0.314	0.419	0.539	0.632	0.54	0.63
	在庫品		0.127	0.276	0.379	0.479	0.562	0.48	0.56
農 漁 家	償却資産		0.156	0.237	0.297	0.366	0.450	0.37	0.45
	在庫品		0.199	0.370	0.491	0.576	0.692	0.58	0.69

注 (1) 家屋、家庭用品、事業所、農漁家資産のそれぞれについて、床上浸水200cm以上棟数の45%は全壊として被害率1とし、別計算して被害額に加えること。(土砂堆積の場合は、土砂堆積深50cm以上の棟数に対し、50%を全壊とする。)

(2) A, B, C は、地盤勾配による区分で、A は1/1000以下、B は、1/500～1/1000、C は、1/500以上をいう。

(3) 家屋被害率は、グループ別に、木造、非木造を合成して求めた。

(4) 家屋、家庭用品、事業所、農漁家被害率については、水害統計の36～42年の単純平均値である。

表-8 土木総合工事費指数

年 次	指 数	年 次	指 数
昭和20	59.51	昭和33	1.78
21	29.43	34	1.76
22	11.53	35	1.64
23	5.50	36	1.46
24	3.63	37	1.40
25	3.16	38	1.36
26	2.55	39	1.32
27	2.24	40	1.28
28	1.99	41	1.19
29	1.77	42	1.11
30	1.88	43	1.08
31	1.85	44	1.04
32	1.70	45	1.00

(建設省調査統計課資料による)

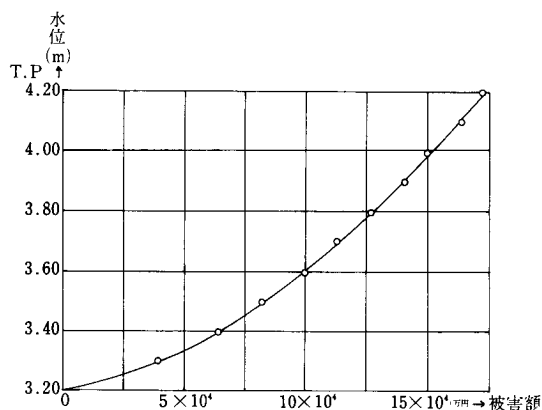


図-21 水位一被害額曲線 (軽屋川試験地区)

表-9 農作物減収尺度表 (水害)

(単位%)

事 項 各浸水深		冠 浸 水												土 砂 埋 設		
		0.5m未満				0.5m~0.99m				1.0m以上				地表からの土砂堆積深		
		1~2日	3~4日	5~6日	7日以上	1~2日	3~4日	5~6日	7日以上	1~2日	3~4日	5~6日	7日以上	0.5~0.99m	1.0m以上	
田	水 稲	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74	70	100	100
畑	陸 稲	20	34	47	60	30	40	50	60	44	60	72	82	69	100	100
	甘 藷	11	30	50	50	27	40	75	88	38	63	95	100	68	81	100
	白 菜	42	50	70	83	58	70	83	97	47	75	100	100	76	81	100
	菜 (1)	19	33	46	59	20	44	48	75	44	38	71	84	68	60	100
	根 菜 (2)	32	46	59	62	43	57	100	100	73	87	100	100	83	81	100
	瓜 類 (3)	22	30	43	56	31	38	51	100	40	50	63	100	68	81	100
	豆 類 (4)	23	41	54	67	30	44	60	73	40	50	68	81	68	83	100
畑	平 均	27	42	54	67	35	48	67	74	51	67	81	91	68	81	100

- (注) (1)ねぎ, ほうれん草, 蔬菜, その他 (2)大根, 里芋, ごぼう, 人参
 (3)きゅうり, 瓜, 西瓜 (4)小豆, 大豆, 落花生, たまねぎ
 (5)土砂埋設の被害率は, 河川の氾濫土砂によるものであるもので, 土石流の場合は, 実情に応じて修正すること。

表-10

	家 屋				事 業 所	
	大	中	小	計	償却財産	在庫品
昭和36年	A 戸 万円 万円 26×270= 7,020	戸 万円 万円 105×200=21,000	戸 万円 万円 863×150=124,950	万円 138,570	戸 万円 19×3,000	戸 万円 19×2,000
	B 26×180= 4,680	105×130=13,650	863×100= 86,300	104,630	万円 =57,000	万円 =38,000
昭和40年	A 62×270=16,740	717×200=43,400	2,349×150=352,350	4,124,900	40×3,000	40×2,000
	B 62×180=11,160	717×130=28,210	2,349×100=234,900	274,270	=120,000	=80,000

注) A=家屋被害 B=家計財産被害

便益・費用比を算定して, その結果を表-13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29に示した。

さきに述べた仮定によって求めた表-12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 28の計算結果によれば, 開水路の平面積およびこれと組合わされるポンプ排水容量の増加によって,

内水位, 湛水時間は共に減少する結果がえられている。

また, 表-13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29の計算結果によれば, 便益・費用比はおよそ単純なピークを示しているもので, 山登り法によって最大値が表-30のように求められる。

表-11

水 位 H	A	B	C	D	合 計
	万円	万円	万円	万円	万円
3.30	$a \times 0.03 = 12,375$	$b \times 0.03 = 8,228$	$c \times 0.12 = 14,400$	$d \times 0.06 = 4,800$	39,803
3.40	$a \times 0.04 = 16,499$	$b \times 0.06 = 16,456$	$c \times 0.18 = 21,600$	$d \times 0.12 = 9,600$	64,155
3.50	$a \times 0.05 = 20,625$	$b \times 0.08 = 21,942$	$c \times 0.22 = 26,400$	$d \times 0.16 = 12,800$	81,767
3.60	$a \times 0.06 = 24,749$	$b \times 0.11 = 30,169$	$c \times 0.25 = 30,000$	$d \times 0.20 = 16,000$	100,918
3.70	$a \times 0.06 = 24,749$	$b \times 0.13 = 35,655$	$c \times 0.28 = 33,600$	$d \times 0.24 = 19,200$	113,204
3.80	$a \times 0.06 = 24,749$	$b \times 0.16 = 43,883$	$c \times 0.30 = 36,000$	$d \times 0.28 = 22,400$	127,032
3.90	$a \times 0.07 = 28,874$	$b \times 0.18 = 49,369$	$c \times 0.32 = 38,400$	$d \times 0.30 = 24,000$	140,643
4.00	$a \times 0.07 = 28,874$	$b \times 0.20 = 54,845$	$c \times 0.34 = 40,800$	$d \times 0.33 = 26,400$	150,928
4.10	$a \times 0.08 = 32,999$	$b \times 0.22 = 60,339$	$c \times 0.36 = 43,200$	$d \times 0.35 = 28,000$	164,538
4.20	$a \times 0.08 = 32,999$	$b \times 0.24 = 65,825$	$c \times 0.38 = 45,600$	$d \times 0.36 = 28,800$	173,224

a = 412,490万円

b = 274,270万円

c = 120,000万円

d = 80,000万円

A = 家屋被害

B = 家計財産被害

C = 事業所償却被害

D = 在庫品被害

表-12 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

P m ³ /sec		0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
a/A	K								
0.019	①	3.162	2.985	2.902	2.799	2.802	2.790	2.778	2.776
	②	0	0	0	0	0	0	0	0
	③	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45
	④	0.347	0.409	0.469	0.529	0.590	0.645	0.699	0.751
0.010	①	3.387	3.184	3.070	2.896	2.882	2.869	2.849	2.849
	②	6.05	0	0	0	0	0	0	0
	③	4.40	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45
	④	0.182	0.245	0.305	0.365	0.422	0.479	0.534	0.587
0.005	①	3.510	3.306	3.173	3.072	2.981	2.932	2.918	2.904
	②	8.45	4.15	0	0	0	0	0	0
	③	2.00	6.30	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45
	④	0.092	0.155	0.214	0.274	0.332	0.388	0.444	0.496
0.001	①	3.609	3.399	3.254	3.149	3.050	2.977	2.962	2.947
	②	10.05	6.35	2.30	0	0	0	0	0
	③	0.40	4.10	8.15	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45
	④	0.010	0.081	0.140	0.200	0.258	0.314	0.370	0.422
0.000	①	3.637	3.424	3.276	3.171	3.070	2.990	2.975	2.959
	②	10.45	6.85	3.15	0	0	0	0	0
	③	0	3.60	7.30	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45
	④	0	0.063	0.112	0.182	0.240	0.296	0.352	0.404

明治41年10月15日出水 連続降雨量=77.0 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-13 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

P m ³ /sec		0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
a/A	K								
5.00	0.019	3.01 (0)	25.55 (0)	22.28 (0)	19.75 (0)	17.71 (0)	16.25 (0)	14.95 (0)	13.91 (0)
	0.010	24.18 (11)	42.65 (0)	34.26 (0)	28.63 (0)	24.76 (0)	21.82 (0)	19.57 (0)	17.80 (0)
15.00	0.005	21.74 (20)	40.65 (6)	48.83 (0)	38.14 (0)	31.48 (0)	26.93 (0)	23.54 (0)	21.07 (0)
	0.001	22.22 (30)	50.62 (10)	58.21 (4)	52.25 (0)	40.50 (0)	33.28 (0)	28.24 (0)	24.76 (0)
22.00	0.000	— (35)	57.14 (11)	65.18 (5)	57.42 (0)	43.54 (0)	35.30 (0)	29.69 (0)	25.87 (0)

明治41年10月15日出水 () 内数字は湛水時間 (hr)

表-14 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

P m ³ /sec a/A K		0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
0.019 5.00	①	3 109	3.024	2 981	2 951	2.920	2.890	2 859	2.840
	②	0	0	0	0	0	0	0	0
	③	7.30	7 30	7.30	7 30	7 30	7.30	7.30	7.30
	④	0.347	0 409	0.469	0.529	0.590	0.643	0.699	0 751
0.010 10.00	①	3.255	3.169	3.112	3 076	3 044	3.012	2.979	2 947
	②	2.55	0	0	0	0	0	0	0
	③	4.75	7.30	7.30	7.30	7 30	7.30	7.30	7.30
	④	0.182	0.245	0 305	0.365	0.422	0 479	0.534	0.587
0.005 15.00	①	3.344	3.241	3 177	3.138	3.106	3 073	3 040	3.006
	②	5 15	1.75	0	0	0	0	0	0
	③	2.15	5.55	7 30	7 30	7.30	7 30	7.30	7.30
	④	0.092	0.155	0.214	0 274	0 332	0 388	0 444	0.496
0.001 20.00	①	3.425	3.301	3.234	3 192	3.159	3 126	3.092	3.058
	②	6.85	4.00	1.50	0	0	0	0	0
	③	0.45	3 30	5.80	7 30	7 30	7.30	7 30	7 30
	④	0.018	0 081	0.140	0.200	0 258	0.314	0 370	0.422
0.000 22.00	①	3 447	3 317	3.248	3.206	3 173	3 140	3.106	3 038
	②	7 30	4.50	2.05	0.25	0	0	0	0
	③	0	2.80	5 25	7.05	7 30	7 30	7 30	7 30
	④	0	0.063	0 112	0.182	0.240	0 296	0.352	0 404

大正8年7月5日出水 連続降雨量=50.8 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-15 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

P m ³ /sec a/A K		0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
0.019 5.00		21.04 (0)	17.85 (0)	15.57 (0)	13.80 (0)	12.37 (0)	11.35 (0)	10.44 (0)	9.72 (0)
		26.10 (6)	29.80 (0)	23.93 (0)	20.00 (0)	17.30 (0)	15.24 (0)	13.67 (0)	12.44 (0)
0.010 10.00		23.37 (12)	35.81 (4)	34.11 (0)	26.64 (0)	21.99 (0)	18.81 (0)	16.44 (0)	14.72 (0)
		25.00 (20)	40.74 (7)	41.43 (2)	36.50 (0)	28.29 (0)	23.25 (0)	19.73 (0)	17.30 (0)
0.000 22.00		— (22)	44.44 (8)	46.88 (3)	38.74 (1)	30.42 (0)	24.66 (0)	20.74 (0)	18.07 (0)

大正8年7月5日出水 () 内数字は湛水時間 (hr)

表-16 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

P m ³ /sec a/A K		0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
0.019 5.00	①	3.222	3.155	3.128	3 100	3.072	3.044	3 016	2.988
	②	1 00	0	0	0	0	0	0	0
	③	8.00	9 00	9.00	9.00	9 00	9.00	9 00	9 00
	④	0.341	0.409	0.469	0.529	0.590	0.643	0.699	0.751
0.010 10.00	①	3.386	3.308	3.279	3.251	3 222	3 193	3 163	3.134
	②	6.05	4.20	3.20	2.15	0.90	0	0	0
	③	2.95	4.80	5.80	6.85	8.10	9.00	9.00	9 00
	④	0.182	0.245	0.305	0.365	0.422	0.479	0.534	0.587
0.005 15.00	①	3.465	3.381	3.352	3.324	3.294	3.265	3.235	3.205
	②	7.60	5.90	5.30	4.65	3.80	2.70	1.50	0.20
	③	1.40	3.10	3.70	4.35	5.20	6.30	7.50	8 80
	④	0.092	0.155	0.214	0.274	0.332	0.388	0.444	0.496
0.001 20.00	①	3.528	3.441	3.413	3.384	3 354	3.325	3.294	3 264
	②	8.70	7.15	6.60	6.00	5.35	4.70	3.80	2 65
	③	0 30	1.85	2.40	3.00	3.65	4.30	5.20	6.35
	④	0.018	0.081	0.140	0.200	0.238	0.314	0.370	0.422
0.000 22.00	①	3.544	3.157	3.428	3.399	3.370	3.340	3.310	3 280
	②	9.00	7.45	6.90	6.30	5.65	5.05	4.30	3.25
	③	0	1.55	2.10	2.70	3.35	3.95	4 70	5 75
	④	0	0.063	0.112	0.182	0.240	0.296	0.352	0 404

大正13年9月12日出水 連続降雨量=51.0 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-17 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

a/A K	P m ³ /sec	0 0	0 3	0.6	0 9	1 2	1 5	1.8	2.1
0.019	5.00	23.05 (1)	22.00 (0)	19.19 (0)	17.01 (0)	15.25 (0)	14.00 (0)	12.88 (0)	11.98 (0)
0.010	10.00	16.21 (6)	19.59 (2)	19.02 (2)	18.77 (1)	19.19 (1)	18.79 (0)	16.85 (0)	15.33 (0)
0.005	15.00	15.22 (12)	20.00 (5)	17.29 (3)	15.88 (2)	15.66 (2)	16.24 (1)	16.89 (1)	17.74 (1)
0.001	20.00	16.67 (19)	22.84 (8)	17.14 (4)	15.00 (3)	14.15 (2)	13.69 (2)	14.05 (1)	15.05 (1)
0.000	22.00	— (22)	24.60 (8)	18.75 (6)	14.84 (3)	13.96 (3)	13.34 (2)	13.35 (1)	14.23 (1)

大正13年9月12日出水 () 内数字は満水時間 (hr)

表-18 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

a/A K	P m ³ /sec	0.0	0 3	0.6	0.9	1.2	1 5	1.8	2.1	2.4
0.019	①	3 731	3 634	3 552	3 524	3 494	3 471	3 454	3 437	3 420
	②	11.80	10.40	9.15	8.70	8 15	7.80	7 40	7.10	6.75
5.00	③	5.85	7 25	8.50	8.95	9.50	9.85	10.25	10.55	10.90
	④	0.347	0.409	0 469	0.529	0.590	0.643	0 699	0.751	0.805
0.010	①	4 006	3 939	3 852	0 806	3 777	3 749	3 728	3 711	3 695
	②	15.25	14.50	13 45	12.80	12.40	12.05	11 75	11.50	11.35
10.00	③	2 40	3.15	4.20	4.85	5.25	5.60	5.90	6 15	6.30
	④	0 182	0.245	0.305	0.365	0.422	0 479	0.534	0.587	0.640
0.005	①	4 153	4 082	4 007	3 954	3 927	3 900	3 875	3 858	3 842
	②	16.85	16 15	15.25	14.65	14.35	14.05	13.70	13.50	13.30
15.00	③	0.80	1.50	2 40	3.00	3.30	3.60	3.95	4.15	4.35
	④	0.092	0 155	0 214	0.274	0.332	0.388	0.444	0.496	0.550
0.001	①	4 223	4 164	4 098	4 043	4 018	3 995	3 970	3 953	3 936
	②	17.55	17.00	16.30	15.70	15.35	15.10	14.85	14.65	14.45
20.00	③	0.1	0 65	1.35	1 95	2.30	2.55	2.80	3.00	3.20
	④	0 018	0 081	0 140	0 200	0.258	0 314	0 370	0.422	0.476
0.000	①	4 238	4 183	4 119	4 064	4 040	4 017	3 994	3 976	3 960
	②	17 65	17.20	16.55	15.90	15.65	15.45	15.10	14.90	14.75
22.00	③	0	0.45	1.10	1.75	2.00	2.20	2.55	2.75	2.90
	④	0	0.063	0 112	0.182	0 240	0.296	0.352	0.404	0 458

a/A K	P m ³ /sec	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4 7	5 1
0.019	①	3 403	3 387	3 371	3 355	3 339	3 323	3 308	3 293	3 278
	②	6.40	6 05	5.70	5.40	5.00	4.65	4.20	3.70	3.20
5.00	③	11.25	11.60	11.95	12.25	12.65	13.00	13.45	13 95	14.45
	④	0.855	0.906	0.955	1.002	1.050	1.096	1.142	1 184	1.226
0.010	①	3 680	3 665	3 651	3 636	3 619	3 603	3 587	3 571	3 556
	②	11.10	10.85	10.65	10.45	10.20	9.95	9.70	9.45	9.20
10.00	③	6.55	6.80	7.00	7.20	7 45	7.70	7.95	8.20	8.45
	④	0 691	0 742	0 790	0.838	0.885	0.932	0.977	10.20	1.061
0.005	①	3 826	3 810	3 796	3 781	3 768	3 755	3 743	3 731	3 716
	②	13.10	12.90	12.70	12.50	12.30	12.15	11.95	11.80	11.65
15.00	③	4.55	4.75	4.95	5 15	5 35	5.50	5.70	5.85	6.00
	④	0.600	0.651	0.700	0.747	0.795	0.843	0.904	0.930	0.911
0.001	①	3 920	3 905	3 890	3 875	3 861	3 847	3 835	3 822	3 811
	②	14.25	14.10	13.90	13.70	13.50	13.35	13.20	13.05	12.90
20.00	③	3.40	3 55	3 75	3 95	4.15	4.30	4 45	4.60	4.75
	④	0.526	0.577	0.626	0.673	0.721	0 768	0.813	0.856	0.897
0.000	①	3 944	3 929	3 914	3 899	3 885	3 871	3 859	3 846	3 835
	②	14.55	14.33	14 20	14.05	13.85	13.65	13.50	13.35	13.20
22.00	③	3.10	3.30	3.45	2.60	3.80	4.00	4.15	4.30	4.45
	④	0.506	0.559	0.608	0 655	0.703	0.750	0.795	0.838	0.879

昭和10年6月29日出水 連続降雨量=207.3 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は(開水路+ポンプ)年費用

しかし、ポンプ排水容量と開水路平面積の組合せを決定するにあたり、民生安定上からは各出水において被害額を0ならしめる組合せを考えることも必要であるが、この規模はあまり際限なく大きく出来ない。そこで、開水路平面積については、 $a/A=0.019$ 以上では図-24に示すように、 K が減少しないので、最大規模として $a/A=0.019$ をとり、ポンプについては現在の施設計画規模の

4.67 m³/sec の約1.5倍の 6.9 m³/sec を最大規模にとる。その範囲で被害額を0ならしめる施設規模の組合せの中で、便益・費用比最大の組合せをとることにすると、表-31 のようになる。

ついでポンプ排水容量と開水路平面積の適正な規模は、各降雨に対するポンプ排水容量と開水路平面積の組合せ規模を表-31より求め、これをそれぞれ y_1, y_2 とし、式

表-19 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

a/A K	$P \text{ m}^3/\text{sec}$	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
0.019 5.00		16.86 (14)	17.73 (9)	18.12 (7)	16.92 (6)	16.10 (6)	15.32 (6)	14.66 (5)	14.05 (5)	13.54 (5)
0.010 10.00		13.19 (33)	12.86 (18)	13.77 (15)	13.29 (14)	12.44 (13)	11.69 (10)	11.05 (10)	10.48 (10)	9.84 (10)
0.005 15.00		8.70 (45)	9.68 (28)	11.21 (19)	10.95 (17)	9.94 (16)	9.28 (15)	8.90 (14)	8.37 (14)	7.91 (12)
0.001 20.00		5.56 (57)	8.02 (32)	9.64 (25)	9.75 (19)	8.91 (17)	8.12 (16)	7.57 (16)	7.11 (15)	6.72 (14)
0.000 22.00		— (66)	7.14 (33)	9.82 (26)	9.62 (19)	8.33 (18)	7.43 (17)	7.24 (16)	6.81 (15)	6.33 (15)

a/A K	$P \text{ m}^3/\text{sec}$	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1
0.019 5.00		13.16 (5)	12.80 (5)	12.51 (4)	12.23 (3)	12.05 (3)	11.86 (3)	11.78 (3)	11.78 (3)	11.79 (3)
0.010 10.00		9.48 (9)	9.16 (9)	8.86 (9)	8.59 (9)	8.42 (8)	8.26 (8)	8.14 (8)	8.04 (8)	7.96 (8)
0.005 15.00		7.58 (12)	7.30 (12)	7.07 (11)	6.89 (11)	6.73 (10)	6.52 (10)	6.31 (10)	6.29 (10)	6.18 (10)
0.001 20.00		6.46 (14)	6.15 (14)	5.99 (13)	5.87 (12)	5.76 (12)	5.60 (12)	5.47 (11)	5.37 (11)	5.30 (10)
0.000 22.00		6.13 (14)	5.90 (14)	5.67 (14)	5.50 (12)	5.41 (12)	5.33 (12)	5.22 (12)	5.13 (11)	5.06 (11)

昭和10年6月29日出水 () 内数字は湛水時間 (hr)

表-20-1 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

a/A K	$P \text{ m}^3/\text{sec}$	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
0.019 5.00	①	3.393	3.378	3.363	3.348	3.334	3.320	3.309	3.299	3.290
	②	6.20	5.85	5.55	5.20	4.90	4.55	4.25	3.95	3.65
	③	5.90	6.25	6.55	6.90	7.20	7.55	7.85	8.15	8.45
	④	0.347	0.409	0.469	0.529	0.590	0.643	0.699	0.751	0.805
0.010 10.00	①	3.584	3.566	3.549	3.531	3.514	3.497	3.485	3.474	3.462
	②	9.65	9.40	9.15	8.80	8.50	8.20	8.00	7.80	7.55
	③	2.45	2.70	2.95	3.30	3.60	3.90	4.10	4.30	4.55
	④	0.182	0.245	0.305	0.365	0.422	0.479	0.534	0.587	0.640
0.005 15.00	①	3.670	3.651	3.633	3.614	3.596	3.578	3.566	3.554	3.541
	②	10.95	10.70	10.40	10.15	9.85	9.55	9.40	9.15	9.00
	③	1.15	1.40	1.70	1.95	2.25	2.55	2.70	2.95	3.10
	④	0.092	0.155	0.214	0.274	0.332	0.388	0.444	0.496	0.550
0.001 20.00	①	3.736	3.717	3.697	3.678	3.658	3.641	3.628	3.615	3.602
	②	11.85	11.55	11.30	11.05	10.80	10.55	10.35	10.15	10.00
	③	0.25	0.55	0.80	1.05	1.30	1.55	1.75	1.95	2.10
	④	0.018	0.081	0.140	0.200	0.258	0.314	0.370	0.422	0.476
0.000 22.00	①	3.752	3.733	3.713	3.693	3.674	3.657	3.643	3.630	3.617
	②	12.10	11.80	11.50	11.25	11.00	10.80	10.55	10.40	10.15
	③	0	0.30	0.60	0.85	1.10	1.30	1.55	1.70	1.95
	④	0	0.063	0.112	0.182	0.240	0.296	0.352	0.404	0.458

表-20-2 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

P m³/sec a/A K		2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1
0.019 5.00	①	3.281	3.272	3.269	3.269	3.268	3.267	3.267	3.266	3.265
	②	3.30	3.05	2.85	2.85	2.80	2.75	2.75	2.75	2.75
	③	8.80	9.05	9.25	9.25	9.30	9.35	9.35	9.35	9.35
	④	0.855	0.906	0.955	1.002	1.050	1.096	1.142	1.184	1.226
0.010 10.00	①	3.451	3.439	3.428	3.416	3.404	3.397	3.395	3.393	3.391
	②	7.25	7.10	6.90	6.65	6.45	6.25	6.20	6.20	6.20
	③	4.85	5.10	5.20	5.45	5.65	5.85	5.90	5.90	5.90
	④	0.691	0.742	0.790	0.838	0.885	0.932	0.977	1.020	1.061
0.005 15.00	①	3.529	3.516	3.504	3.491	3.479	3.466	3.455	3.452	3.450
	②	8.75	8.50	8.30	8.10	7.90	7.62	7.45	7.40	7.35
	③	3.35	3.60	3.80	4.00	4.20	4.48	4.65	4.70	4.75
	④	0.600	0.651	0.700	0.747	0.795	0.843	0.904	0.930	0.971
0.001 20.00	①	3.588	3.575	3.562	3.548	3.535	3.521	3.507	3.501	3.498
	②	9.75	9.55	9.30	9.08	8.90	8.65	8.40	8.25	8.20
	③	2.35	2.55	2.80	3.08	3.20	3.45	3.70	3.85	3.90
	④	0.526	0.577	0.626	0.673	0.721	0.768	0.813	0.856	0.897
0.000 22.00	①	3.603	3.590	3.576	3.563	3.549	3.535	3.521	3.513	3.509
	②	10.00	9.90	9.65	9.30	9.10	8.90	8.65	8.50	8.40
	③	2.10	2.20	2.45	2.80	3.00	3.20	3.45	3.60	3.70
	④	0.506	0.559	0.608	0.655	0.703	0.750	0.795	0.838	0.879

昭和32年7月10日出水 連続降雨量=72.4 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-20-3 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

P m³/sec a/A K		5.4	5.7	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8
0.019 5.00	①	3.264	3.264	3.263	3.262	3.261	3.261	3.260	3.259	3.258
	②	2.70	2.70	2.70	2.65	2.60	2.60	2.55	2.50	2.45
	③	9.40	9.40	9.40	9.45	9.50	9.50	9.55	9.60	9.65
	④	1.268	1.309	1.347	1.387	1.427	1.467	1.502	1.537	1.573
0.010 10.00	①	3.389	3.387	3.386	3.384	3.382	3.380	3.378	3.376	3.374
	②	6.15	6.10	6.05	6.00	5.95	5.95	5.90	5.80	5.80
	③	5.95	6.00	6.05	6.10	6.15	6.15	6.20	6.30	6.30
	④	1.104	1.144	1.182	1.223	1.263	1.302	1.338	1.372	1.409
0.005 15.00	①	3.447	3.445	3.442	3.440	3.438	3.435	3.433	3.430	3.428
	②	7.25	7.25	7.20	7.15	7.10	7.05	7.00	6.95	6.90
	③	4.85	4.85	4.90	4.95	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20
	④	1.012	1.053	1.091	1.132	1.172	1.211	1.246	1.281	1.317
0.001 20.00	①	3.495	3.492	3.489	3.486	3.483	3.480	3.477	3.473	3.470
	②	8.15	8.10	8.05	8.00	7.95	7.90	7.85	7.80	7.75
	③	3.95	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20	4.25	4.30	4.35
	④	0.939	0.980	1.017	1.058	1.098	1.138	1.173	1.208	1.244
0.000 22.00	①	3.506	3.503	3.500	3.497	3.494	3.490	3.487	3.484	3.481
	②	8.35	8.30	8.25	8.20	8.15	8.05	8.00	7.95	7.90
	③	3.75	3.80	3.85	3.90	3.95	4.05	4.10	4.15	4.20
	④	0.921	0.962	0.999	1.040	1.080	1.119	1.155	1.190	1.226

昭和32年7月10日出水 連続降雨量=72.4 mm

①はピーク内水位 ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-21-1 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

P m³/sec a/A K		0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
0.019 5.00		17.00	15.28	13.97	13.04	12.20	11.74	11.23	10.85	10.50
		(4)	(3)	(3)	(3)	(3)	(2)	(2)	(2)	(2)
0.010 10.00		13.46	11.02	9.67	9.04	8.53	8.14	7.68	7.33	7.11
		(11)	(9)	(6)	(5)	(5)	(4)	(3)	(3)	(3)
0.005 15.00		12.50	9.03	7.94	7.12	6.78	6.57	6.08	5.95	5.64
		(18)	(11)	(8)	(7)	(6)	(5)	(5)	(4)	(4)
0.001 20.00		13.89	6.79	5.71	5.25	5.04	4.95	4.72	4.62	4.49
		(27)	(14)	(10)	(8)	(7)	(6)	(5)	(5)	(4)
0.000 22.00		—	4.76	5.36	4.67	4.58	4.39	4.40	4.21	4.26
		(31)	(14)	(11)	(8)	(7)	(6)	(5)	(5)	(5)

昭和32年7月10日出水 () 内数字は灌水時間 (hr)

(13)に従って、これに図-22の連続降雨確率密度 $P_1(x_1)$

図-23の連続降雨重心距離確率密度 $P_2(x_2)$ をそれぞれかけて、その和をとることによって、ポンプ排水容量と開水路平面積の適正な値 $E[y_1]$, $E[y_2]$ を表-32を用いて求める。

$$E[y_1] \doteq 1.0 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$E[y_2] \doteq 6,280 \text{ m}^2 \quad (a/A=0.0052)$$

以上の計算結果から、この試験地区の適正ポンプ容量は $1.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、現状のポンプ計画容量 $4.67 \text{ m}^3/\text{sec}$ より小さく、その比は0.21倍であり、開水路平面積の適正な値は $6,280 \text{ m}^2$ で、これは現状の $16,540 \text{ m}^2$ より小さく、その比は0.38倍である。

表-21-2 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

a/A K	P m ³ /sec	2 7	3 0	3.3	3.6	3 9	4 2	4 5	4 8	5 1
0 019	5 00	10 29 (2)	9 99 (2)	9 69 (2)	9 23 (2)	8.86 (2)	8 53 (2)	8.19 (2)	7.90 (2)	7 63 (2)
0 010	10.00	7.02 (3)	6 87 (3)	6 58 (3)	6.50 (3)	6.38 (2)	6.27 (2)	6.04 (2)	5 78 (2)	5.56 (2)
0.005	15.00	5.58 (4)	5 53 (3)	5.43 (3)	5.35 (3)	5.28 (3)	5.31 (3)	5 14 (3)	5 05 (2)	4.89 (2)
0.001	20 00	4.47 (4)	4 42 (4)	4 47 (4)	4.58 (3)	4.44 (3)	4.49 (3)	4 55 (3)	4 50 (3)	4.35 (3)
0 000	22.00	3.71 (4)	3 94 (4)	4.03 (4)	4 27 (3)	4 27 (3)	4 27 (3)	4 34 (3)	4 30 (3)	4.21 (3)

a/A K	P m ³ /sec	5.4	5 7	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7 8
0 019	5.00	7.41 (2)	7.18 (1)	6.98 (1)	6.81 (1)	6 65 (1)	6 48 (1)	6.36 (1)	6.25 (1)	6.13 (1)
0 010	10.00	5.39 (2)	5.24 (2)	5 12 (2)	4.99 (2)	4.87 (2)	4 72 (2)	4.63 (2)	4.59 (2)	4.47 (2)
0 005	15.00	4.79 (2)	4.61 (2)	4.49 (2)	4 37 (2)	4 27 (2)	4 17 (2)	4.09 (2)	4.02 (2)	3.95 (2)
0.001	20.00	4 21 (2)	4.08 (2)	3.98 (2)	3.87 (2)	3.78 (2)	3 69 (2)	3 62 (2)	3.56 (2)	3.50 (2)
0 000	22 00	4.07 (3)	3 95 (2)	3 85 (2)	3.75 (2)	3.66 (2)	3.62 (2)	3.55 (2)	3 48 (2)	3 43 (2)

昭和32年7月10日出水 () 内数字は灌水時間 (hr)

表-22-1 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

a/A K	P m ³ /sec	0.0	0 3	0 6	0 9	1.2	1.5	1 8	2.1	2 4
0 019	①	3.527	3 414	3 312	3.263	3 238	3.214	3.189	3.165	3.141
	②	8.80	6 60	4.30	2.65	1 50	0.65	0	0	0
	③	6.8	9 00	11.30	12.95	14.10	14.95	15.60	15.60	15.60
	④	0 347	0 409	0.469	0 529	0 590	0.643	0.699	0 751	0.805
0 010	①	3.811	3.700	3 597	3.496	3 457	3.427	3 399	3 372	3.347
	②	12.86	11.30	10.00	8.15	7 45	6.85	6 40	5 70	5 15
	③	2 74	4.30	5 60	7 45	8 15	8.75	9.20	9.90	10.45
	④	0.182	0.245	0 305	0.365	0.422	0.479	0.534	0.587	0.640
0.005	①	3.939	3.836	3 737	3 637	3.568	3.537	3.507	3.478	3.450
	②	14.50	13.25	11 90	10.50	9.40	8.90	8.40	7.85	7 35
	③	1 10	2.35	3 70	5.10	6.20	6.70	7.20	7.75	8.25
	④	0.092	0.155	0.214	0 274	0 332	0.388	0.444	0.496	0.550
0.001	①	4 23	3.927	3 833	3 735	3 650	3.617	3.583	3.555	3.525
	②	15.40	14.40	13.10	11.90	10.65	10.15	9.60	9.25	8.70
	③	0.20	1.20	2 50	3.70	4 95	5.45	6.00	6.35	6 90
	④	0.018	0.081	0.140	0.200	0 258	0 314	0 370	0.422	0.476
0.000	①	4.044	3.950	3.857	3.761	3 671	3.638	3.606	3.575	3 545
	②	15.60	14.60	13.50	12.20	11.00	10.50	10.05	9.50	9.00
	③	0	1.00	2.10	3.40	4.60	5 10	5.55	6.10	6.60
	④	0	0.063	0.112	0.182	0 240	0 296	0 352	0.404	0.458

表-22-2 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

a/A K	P m ³ /sec	2.7	3 0	3 3	3.6	3.9	4 2	4 5	4 8	5 1
0.019 5.00	①	3.119	3 105	3 093	3 082	3 071	3 061	3 051	3.041	3 031
	②	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	③	15.60	15.60	15.60	15 60	15 60	15.60	15.60	15.60	15.60
	④	0.855	0.906	0 955	1 002	1 050	1 096	1 142	1.184	1.226
0.010 10.00	①	3 324	3.302	3.287	3 275	3 267	3 252	3 239	3.227	3.215
	②	4 50	4 00	3 50	3.00	2 75	2.15	1.70	1.10	0 65
	③	11.10	11.60	12.10	12 60	12.85	13 45	13.90	14.50	14.95
	④	0 691	0 742	0 790	0 838	0.885	0 932	0 977	1 020	1 061
0 005 15.00	①	3 424	3.399	3 376	3.362	3.350	3 338	3 326	3.316	3 306
	②	6 85	6 35	5 85	5.50	5 25	5 00	4 75	4.45	4 20
	③	8.75	9.25	9 75	10.10	10.35	10.60	10.85	11.15	11.40
	④	0.600	0.651	0 700	0.747	0.795	0 843	0.904	0 930	0.971
0 001 20.00	①	3.497	3.470	3.444	3.426	3 412	3.398	3 385	3 373	3.361
	②	8 25	7.70	7 20	6.85	6.50	6 30	6 05	5 85	5 50
	③	7 35	7.90	8 40	8.75	9 10	9.30	9.55	9.75	10.10
	④	0.526	0.577	0.626	0.673	0.721	0.768	0.813	0 856	0.897
0 000 22.00	①	3.516	3.498	3 463	3 444	3 429	3 414	3.401	3.388	3 376
	②	8.60	8.25	7 60	7 20	6.95	6.50	6.30	6 10	5.85
	③	7 00	7.35	8 00	8.40	8 65	9.10	9.30	9 50	9.75
	④	0 506	0.559	0 608	0.655	0 703	0 750	0 795	0.838	0 879

昭和34年11月2日出水 連続降雨量=121.8 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-23 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

a/A K	P m ³ /sec	0 0	0 3	0 6	0 9	1 2	1.5	1 8	2 1	2.4
0.019 5.00		19.60 (7)	22 00 (5)	24.09 (3)	24.48 (2)	23.90 (1)	36.16 (1)	22.32 (0)	20.77 (0)	19 38 (0)
		15.05 (10)	17.55 (10)	18 36 (7)	20.41 (6)	19.31 (5)	18.27 (5)	17.23 (4)	16 87 (3)	16.33 (3)
0.010 10.00		11.96 (30)	15.16 (15)	17.29 (10)	18.61 (8)	18.67 (7)	17.27 (7)	16.22 (6)	15.63 (6)	15.00 (5)
		11 11 (43)	14.81 (22)	17.86 (14)	18.50 (10)	19.19 (8)	17.36 (8)	16.22 (7)	15.05 (7)	14 50 (6)
0 005 15.00		0 (47)	15.87 (23)	18.75 (14)	18.68 (11)	19.17 (9)	17.23 (8)	15.77 (7)	15.10 (7)	14.41 (6)

a/A K	P m ³ /sec	2.7	3 0	3.3	3 6	3 9	4 2	4 5	4.8	5.1
0 019 5 00		18.25 (0)	17.22 (0)	16.34 (0)	15.57 (0)	14 86 (0)	14.23 (0)	13.66 (0)	13 18 (0)	12 72 (0)
		16.06 (3)	15.63 (3)	15.32 (2)	15.04 (1)	14.52 (1)	14.43 (1)	14.23 (1)	14.22 (1)	14.09 (1)
0.010 10.00		14.53 (4)	14.21 (4)	13.93 (4)	13.52 (4)	13.02 (4)	12.57 (3)	12.00 (3)	11.99 (2)	11.74 (2)
		13 97 (6)	13.69 (6)	13.42 (4)	13.00 (4)	12.62 (4)	12.11 (4)	11 75 (4)	11.39 (4)	11.26 (4)
0 001 20.00		13.83 (6)	13.15 (6)	13.16 (5)	12.82 (4)	12.30 (4)	12.13 (4)	11.70 (4)	11.34 (4)	11.09 (4)

昭和34年11月2日出水 () 内数字は湛水時間 (hr)

表-24 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

P m ³ /sec a/A K		0 0	0 3	0 6	0.9	1 2	1.5	1 8	2 1	2 4
0 019 5 00	①	3.326	3 046	2 940	2.892	2.867	2.857	2.849	2.840	2 835
	②	4.70	0	0	0	0	0	0	0	0
	③	10.05	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75
	④	0 347	0 409	0 469	0.529	0 590	0.643	0.699	0.751	0.805
0 010 10.00	①	3.618	3.273	3 123	3.043	2.989	2.960	2 947	2.934	2.923
	②	10 20	3 00	0	0	0	0	0	0	0
	③	4 55	11.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75
	④	0 182	0.245	0.305	0.365	0 422	0.479	0.534	0.587	0 640
0 005 15 00	①	3 798	3.444	3.264	3.150	3 088	3 040	3.012	2.997	2 982
	②	12.70	7 25	2.70	0	0	0	0	0	0
	③	2 05	7 50	12.05	14.75	14 75	14.75	14.75	14.75	14 75
	④	0.092	0 155	0.214	0 274	0 332	0.388	0.444	0.496	0.550
0.001 20 00	①	3.927	3.591	3 378	3.243	3.171	3 111	3.071	3.051	3 034
	②	14.35	9.80	5.90	1.85	0	0	0	0	0
	③	0.40	4 95	8 85	12.90	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75
	④	0.018	0 081	0.140	0 200	0 258	0.314	0 370	0 422	0.476
0.000 22.00	①	3.962	3.634	3.413	3 272	3 196	3 133	3 092	3 067	3 050
	②	14.75	10 45	6.60	3 00	0	0	0	0	0
	③	0	4.30	8 15	11.75	14.75	14 75	14.75	14.75	14.75
	④	0	0.063	0 112	0 182	0 240	0 296	0.352	0.404	0 458

昭和36年10月26日出水 連続降雨量=150.5 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-25 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

P m ³ /sec a/A K		0 0	0 3	0 6	0 9	1 2	1.5	1.8	2 1	2.4
0 019 5 00		28.96 (8)	36.06 (0)	31.45 (0)	27.88 (0)	25.00 (0)	22.94 (0)	21.10 (0)	19 64 (0)	18.32 (0)
		25.00 (25)	47.96 (3)	48 36 (0)	40.41 (0)	34.95 (0)	30.79 (0)	27.62 (0)	25 13 (0)	23.05 (0)
0 010 10.00		22.28 (38)	48 39 (11)	56 31 (2)	53.83 (0)	44.43 (0)	38.02 (0)	33.22 (0)	29.74 (0)	26.82 (0)
		22.22 (52)	61.11 (17)	63 21 (8)	64.50 (2)	57.17 (0)	46.97 (0)	39 86 (0)	34 95 (0)	30.99 (0)
0 000 22.00		— (62)	68.25 (20)	72 77 (9)	64.56 (2)	61.46 (0)	49.83 (0)	41 90 (0)	36 51 (0)	32.21 (0)

昭和36年10月26日出水 () 内数字は満水時間 (hr)

表-26 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

P m ³ /sec a/A K		0.0	0.3	0.6	0 9	1 2	1.5	1 8	2 1
0.019 5 00	①	3.243	3.135	3 073	3 029	2 990	2.951	2 912	2.874
	②	2.00	0	0	0	0	0	0	0
	③	8.80	10.80	10.80	10 80	10 80	10 80	10 80	10.80
	④	0.347	0 409	0 469	0 529	0 590	0 643	0 699	0.751
0 010 10.00	①	3.448	3.335	3.249	3 196	3 154	3 112	3 070	3 028
	②	7 30	4.95	2.10	0	0	0	0	0
	③	3.50	5.85	8 70	10 80	10.80	10.80	10 80	10.80
	④	0.182	0.245	0 305	0 365	0.422	0 479	0 534	0.587
0 005 15 00	①	3 558	3.440	3.337	3.280	3 237	3 193	3 150	3.106
	②	9 25	7 15	5.00	3.30	1.60	0	0	0
	③	1 55	3.65	5.80	7.50	9.20	10.80	10.80	10.80
	④	0.092	0.155	0.214	0.274	0.332	0.388	0.444	0.496
0.001 20.00	①	3 639	3 523	3.410	3.348	3.302	3.258	3.213	3.169
	②	10.50	8.65	6.65	5.25	4.00	2 45	0.55	0
	③	0.30	2.15	4.15	5 55	6 80	8.35	10.25	10.80
	④	0 018	0 081	0.140	0.200	0 258	0.314	0.370	0.422
0 000 22.00	①	3 660	3 545	3 430	3 367	3 320	3.275	3 231	3.186
	②	10.80	9.00	6 95	5 65	4.60	3.10	1.35	0
	③	0	1 80	3.85	5 15	6.20	7.70	9 45	10.80
	④	0	0.063	0 112	0 182	0 240	0.296	0.352	0.404

昭和40年9月17日出水 連続降雨量=75.8 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は (開水路+ポンプ) 年費用 (億円)

表-27 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

a/A K	P m ³ /sec	0 0	0 3	0 6	0 9	1 2	1.6	1.8	2 1
0.019	5 00	25.36 (2)	26.41 (0)	23.03 (0)	20.42 (0)	18.31 (0)	16.80 (0)	15.45 (0)	14.38 (0)
0.010	10.00	19.23 (11)	23.88 (5)	28.52 (2)	29.59 (0)	25.59 (0)	22.55 (0)	20.22 (0)	18.40 (0)
0.005	15.00	16.85 (20)	23.55 (9)	27.10 (5)	27.37 (3)	27.71 (2)	27.84 (0)	24.32 (0)	21.77 (0)
0.001	20.00	16.67 (29)	26.54 (13)	29.64 (8)	27.75 (5)	26.36 (4)	26.59 (2)	27.70 (1)	25.59 (0)
0.000	22 00	— (33)	28.57 (14)	34.38 (8)	28.30 (5)	24.83 (4)	26.01 (2)	26.85 (1)	26.73 (0)

昭和40年9月17日出水 () 内数字は満水時間 (hr)

表-28 開水路・ポンプの各組合せに対する被害額・各種費用

a/A K	P m ³ /sec	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
0.019	①	3.083	2.911	2.873	2.858	2.842	2.827	2.811	2.795
	②	0	0	0	0	0	0	0	0
5 00	③	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20
	④	0.347	0.409	0.469	0.529	0.590	0.643	0.699	0.751
0.010	①	3.274	3.042	2.978	2.950	2.933	2.916	2.899	2.882
	②	3.10	0	0	0	0	0	0	0
10.00	③	5.10	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20
	④	0.182	0.245	0.305	0.365	0.422	0.479	0.534	0.587
0.005	①	3.386	3.116	3.050	2.998	2.980	2.963	2.946	2.928
	②	6.05	0	0	0	0	0	0	0
15.00	③	2.15	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20
	④	0.092	0.155	0.214	0.274	0.332	0.388	0.444	0.496
0.001	①	3.474	3.182	3.111	3.042	3.025	3.007	2.989	2.971
	②	7.80	0	0	0	0	0	0	0
20.00	③	0.40	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20
	④	0.018	0.081	0.140	0.200	0.258	0.314	0.370	0.422
0.000	①	3.498	3.208	3.129	3.059	3.037	3.019	2.001	2.983
	②	8.20	0.35	0	0	0	0	0	0
22.00	③	0	7.85	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20
	④	0	0.063	0.112	0.182	0.240	0.296	0.352	0.404

昭和44年7月8日出水 連続降雨量=65.0 mm

①はピーク内水位 (m) ②は被害額 (億円) ③は被害軽減額 (億円) ④は(開水路+ポンプ)年費用 (億円)

表-29 開水路・ポンプの各組合せに対する便益・費用比

a/A K	P m ³ /sec	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
0.019	5 00	23.63 (0)	20.05 (0)	17.48 (0)	15.50 (0)	13.90 (0)	12.75 (0)	11.73 (0)	10.92 (0)
0.010	10.00	28.02 (6)	32.28 (0)	26.89 (0)	22.47 (0)	19.43 (0)	17.12 (0)	15.36 (0)	13.97 (0)
0.005	15.00	23.37 (16)	52.90 (0)	38.32 (0)	29.93 (0)	25.47 (0)	21.13 (0)	18.47 (0)	16.53 (0)
0.001	20.00	22.22 (24)	101.23 (0)	58.57 (0)	41.00 (0)	31.78 (0)	26.11 (0)	22.16 (0)	19.43 (0)
0.000	22.00	— (29)	124.60 (1)	67.21 (0)	45.05 (0)	34.17 (0)	27.70 (0)	23.30 (0)	20.30 (0)

昭和44年7月8日出水 () 内数字は満水時間 (hr)

表-30 各出水別便益・費用比を最大ならしめるポンプ排水容量と開水路平面積組合せの規模

出年月日	明治41年 10月15日	大正 8 年 7 月 5 日	大正13年 9 月12日	昭和10年 6 月29日	昭和32年 7 月10日	昭和34年 11月 2 日	昭和36年 10月26日	昭和40年 9 月17日	昭和44年 7 月 8 日
ポンプ排水容量 P m ³ /sec	0.6	0.6	0.3	0.6	0.0	0.9	0.6	0.6	0.3
開水路平面積 a m ²	0	0	0	23,180	23,180	23,180	0	0	0

表-31 各出水別被害額を 0 とする便益・費用比最大のポンプ排水容量と開水路平面積組合せの規模

出年月日	昭和41年 10月15日	大正 8 年 7 月 5 日	大正13年 9 月12日	昭和10年 6 月29日	昭和32年 7 月10日	昭和34年 11月 2 日	昭和36年 10月26日	昭和40年 9 月17日	昭和44年 7 月 8 日
ポンプ排水容量 P m ³ /sec	0.9	0.9	0.3	6.9	6.9	1.8	1.2	0.9	0.3
開水路平面積 a m ²	0	1,220	23,180	23,180	23,180	23,180	0	12,200	1,220

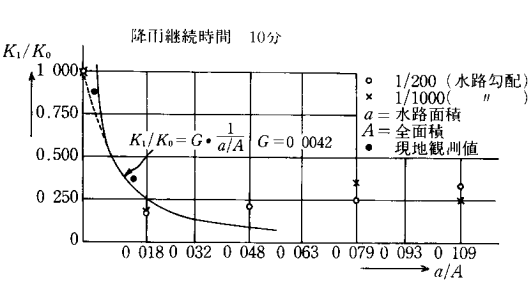


図-24 K_1/K_0 と a/A の関係図

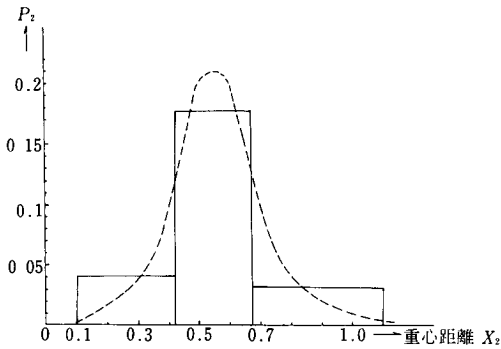


図-23 連続時間降雨重心距離確率密度分布

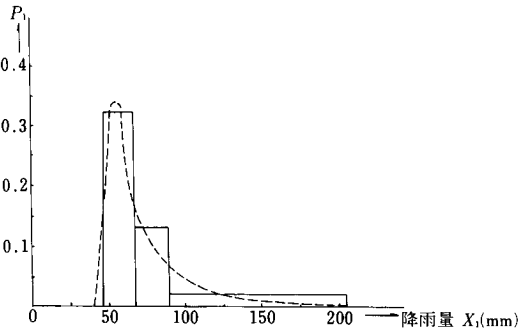


図-22 連続降雨量確率密度分布

表-32 各出水別降雨分布形のメッシュ巾 $\Delta X_1, \Delta X_2$ とその確率密度 $P_1(X_1), P_2(X_2)$ の値

	Δx_1	Δx_2	$P_1(x_1)$	$P_2(x_2)$
明治41年10月15日	22	0.43	0.13	0.03
大正 8 年 7 月 5 日	21	0.32	0.31	0.04
大正13年 9 月12日	21	0.43	0.31	0.03
昭和10年 6 月29日	116	0.32	0.02	0.04
昭和32年 7 月10日	22	0.32	0.13	0.04
昭和34年11月22日	116	0.43	0.02	0.03
昭和36年10月26日	116	0.26	0.02	0.18
昭和40年 9 月17日	22	0.26	0.13	0.18
昭和44年 7 月 8 日	21	0.26	0.31	0.18

第 5 章 結 論

内水対策システム計算の中で、開水路とポンプとの関係に着目して、両者の組合せで適正なものをさがす方法について論じた。

内水被害のように、人命にかかわることが多く、経済効果の判断のみで復旧可能な内水対策については、降雨を確率的事象を考えて、各降雨に対する経済的に適正な内水対策施設を算定し、(13)式によって期待値を求め、それをもって計画施設とすることによって、内水対策システム化することができた。

計算によれば、便益・費用比はおおよそ単純なピークを示し、山登り法によって便益・費用比の最大値が求められた。

また産業連関分析によって、波及被害の計算が可能となり、波及被害は、モデル地域の試域の試算によれば、商工業の直接被害の約 1/2 程度となり、その被害はかなり大きく、施設規模決定の指標として考えるのに十分な精度と大きさをもつことがわかった。

さらに、今まで考慮されていない間接被害、例えば、不労働被害、人心に与える被害、人命被害についても今後充分考慮して、これらを金額に換算して、経済的規模

決定に組入れるべきことを検討した。

寝屋川流域試験地に対する試算によれば、被害額を0ならしめる施設規模の組合せの中、便益・費用比最大の組合せは、表-31のような結果がえられた。

その結果によれば、現在のポンプ計画容量 $4.67 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、開水路面積 $16,540 \text{ m}^2$ であるので、ポンプ、開水路共に、現施設は何れも適正な規模でなく、各降雨を確率事象と考えると、その期待値をもって適正な施設規模とした結果よりすれば、ポンプの適正規模は $1.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、開水路面積の適正規模は $6,280 \text{ m}^2$ となり、ポンプ容量および開水路平面積共に現計画は不経済であることがわかった。

謝 辞

本論文をまとめるに当り、御指導と御鞭撻下さいました東北大学工学部教授岩崎敏夫博士に、また貴重な御教示を戴きました運輸省港湾技術研究所、稲村肇博士、建設省北陸地方建設局、福井直治氏の各位に対しまして深く感謝申し上げます。

(原稿受付 昭和54年9月26日)

参 考 文 献

- 1) 川崎精一：都市化流域における河川システムに関する研究、昭和49年3月。
- 2) T. E. Harbaugh and Ven Te Chow: A Study of The Roughness of Conceptual River Systems or Wystems or Wartersheds, University of Illinois, September, 1967.
- 3) 伊藤秀夫・福井直治 内水被害と内水対策システムの最適化について、第28回建設省技術研究会講演概要 昭和49年11月。
- 4) 宮川公男：システム分析概論、有斐閣双書、昭和48年7月。
- 5) Tung Au Richard M. Shane Lester A. Hoel: Fundamentals of Systems Engineering Probabilistic Models, Addison-Wesley Publis-hing Company, 1972.
- 6) 伊藤秀夫：内水排除施設の経済的規模の決定、土木技術 Vol. 27, No. 8. 1972.
- 7) 日本河川協会：水害統計改善の方向、昭和44年3月。
- 8) 金子敬生：産業連関の理論と適用、日本評論社、昭和44年4月。
- 9) 寺野寿郎・野本明編集：システム工学の手法、日刊工業新聞社、昭和47年7月。
- 10) 大阪府農林部耕地課：東大阪農業水利改良事業古川地区竣工概要書、昭和46年2月。
- 11) 建設省山形工事事務所：大旦川地区内水調査解析報告書、昭和42年11月。
- 12) 建設省河川局河川計画課：治水経済調査要綱、昭和47年。