

第2章 洪水防御計画の基本

第1節 計画基準点

計画基準点は、水系の洪水防御計画の対象外力を設定するための基準とする地点である。計画基準点において、水系全体の治水安全度として基本高水を設定し、その基本高水に対し水系の主要な洪水防御の対象区域に対する洪水防御効果が適切に発揮されるよう、河道と洪水調節施設への配分や主要な地点における計画高水流量を定める。

[解説]

計画基準点は、水系の洪水防御計画の代表的な対象外力を示す地点であるから、その設置地点としては流域における主要市街地近傍、計画の基準となる水位標のある地点や支川、ダム等の洪水調節施設が設けられている地点が適している。

一級河川等の支川計画を対象とする場合は、本川の背水の影響がない区間に設定するものとする。また、あらかじめ洪水観測地点、水位観測所等が設定されていれば、これを考慮して設定することも考えられる。

なお、流域が大きく、上下流で水系の計画高水流量等を一つで表すのが効率的でないと思なされる場合には、計画基準点の他に計画上の主要地点（複数可）を設定することが望ましい。

第2節 計画規模

2.1 一般的な考え方

計画規模は、基本的に降雨量の年超過確率で評価する。計画規模の設定に際しては、河川の重要度、既往洪水による被害の実態、経済性、上下流のバランス、他の河川の計画規模等を総合的に考慮して定める。

[解説]

河川の計画規模は、一般に雨量、流量などの水文学の年超過確率で表される。中小河川の場合、雨量資料は水位・流量等に比べ蓄積度合いが高いこと、大川と比べると流域全体で一様性が高いため雨量と流量の規模の相関が高いこと等の理由から、雨量を計画の外力として扱うのが合理的である。

計画規模は、河道やダムなどの治水施設の諸元を設定するための指標であるから、これを設定する際には地形や河川の形態によってダメージポテンシャルが異なることに留意する必要がある。例えば、下図に示すように、計画規模が同じであっても築堤河道と掘込河道では洪水被害が異なる。

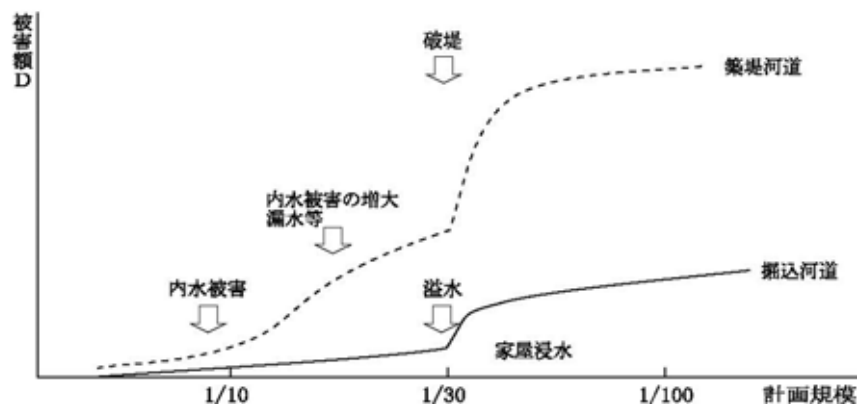


図 2.2.1 築堤河道と掘込河道のダメージポテンシャルの違い

以下に計画規模の設定にあたっての基本方針を示す。

河川の大きさ、流域の社会経済的重要性、想定される被害の実態、過去の災害の履歴、経済効果に加え、上下流バランス、流域の将来の姿などに配慮する。流域の社会経済的重要性を評価する流域の指標としては、流域面積、流域の都市化状況、氾濫区域の面積、資産、人口、工業出荷額等が考えられる。

都道府県内の他河川とのバランスにも配慮する。

過去に大規模な洪水被害を受けている場合、基本的にはこれを防御できるような規模にする。

流域で大規模開発が計画されている場合には、将来の流出特性の変化にも配慮する。

2.2 山梨県で定める計画規模

山梨県では、河川の計画規模を新たに定めようとする場合、原則的には以下の手順により決定するものとする。

<手順>

対象河道の氾濫防止区域内における土地利用、公共施設を調べ、「表 2.2.1 氾濫防止区域の土地利用・公共施設と計画規模との関係」から計画規模を選定する。

死亡者を伴ったり多額の損失をもたらした大きな災害を過去に対象河川が経験しているかを調べる。経験している場合はこの洪水規模を推定し、と計画規模と比較する。の計画規模のほうが小さい場合には、過去の洪水規模並みとなるよう計画規模を再設定する。水系全体を眺望し、基本的には下流に行くに従い計画規模が大きくなっているかを確認する。下流の計画規模が小さくなっているところに関しては計画規模の再設定を行う。ただし、ダムや砂防えん堤などの横断工作物およびその付帯施設に関してはこの限りではない。

県内における同規模の河川の計画規模と照らし合わせ、同程度になっているかどうかを確認する。同程度でない場合には上記 ~ の内容を再度考察し、計画規模の再設定を行う。このプロセスを経たとしても、例えば河川の規模や利用形態が同等でも、過去に大きな災害を被った経験の有無等で計画規模が異なり得ることを念頭に置かねばならない。

必要に応じてB/Cの計算を行い、設定した計画規模の妥当性を確認する。

<解説>

新規に河川の計画規模を定める場合の手順を示したものである。計画規模は、2.1項に示したとおり、本来的には流域のダメージポテンシャルと治水事業への投資額との関係を見ながら評価すべきものであるが、県管理河川は一つの地域に複数存在する場合、またB/Cの評価だけでは計画規模を決められない場合などがあるのでこのような手順を定めたものである。

なお、市街地を流れる河川などでは、B/Cからすると1/50、1/100といった計画規模を取ることが可能になることもあるが、家屋密集地帯で河道拡幅が事実上不可能であることもある。そうした場合は上記の手順によらず、河川ごとに現実的な計画規模を見出していくことが必要である。また、将来計画と当面の計画という2段階の計画を立てることも有効な方法である。

表-2.2.1 氾濫防止区域の土地利用・公共施設と計画規模との関係

| 計画規模 指標 | 1/10 | 1/30 | 1/50 |
|-------------------|-------------|------------------|----------------------------|
| 氾濫を防止したい区域の土地利用状況 | 農地が主体 | 家屋連担地 | 市街地および将来の市街化が予想される区域 |
| 氾濫を防止したい区域内の公共施設 | 道路、公民館、集会所等 | 幹線道路、学校、病院、福祉施設等 | 主要幹線道路、鉄道、防災拠点施設、ライフライン施設等 |

| 技術コラム | ダム、砂防えん堤の設計規模 |
|---|---------------|
| <p>ダム、砂防えん堤などの大規模横断工作物の施設設計に際し選定される超過確率は、河道のそれよりも大きくなる傾向があります。一般に、大規模横断工作物の改築費用は大きいので、ライフサイクルコストを下げるためには改築の頻度を下げる、すなわち設計超過確率を大きめに取るのが有利であるからです。その結果、例えばダムの超過確率が 1/80 でこの直下流の河道のそれが 1/50 で計画されるようなことがあります。このような場合は、河道が将来の計画改定に備えていると解釈し、河道と横断工作物関連施設の接続等に際しては河道側が将来の改築に対応できるよう配慮します。</p> | |

| 技術コラム | 計画規模の県内バランスを考える意義 |
|--|-------------------|
| <p>河道改修の計画規模は、本来ならば 2.1 項で述べたように B/C 等の指標を用いた経済効果の検討を含めて総合的に決定されなければなりません。しかしながら、経済効果の検討は容易な作業ではないので、小流域河川で実施することは経済的に得策ではないことがあります。そこで県内バランスという考え方が出てきます。河川の規模、流域の土地利用・資産が同程度ならば同じ計画規模にしようとするものです。</p> <p>しかしながら、コスト縮減の必要性が叫ばれる現在、個々の河川の計画規模を下げてでも工事費を削減し、その分 1 本でも多くの河川で工事を実施しようという考え方も生じてきます。こうした状況下では、計画規模の県内バランスを取る意義自体が揺らいでいきます。公共事業の位置づけに関する今後の情勢を我々は注意深く見つめていく必要があるといえるでしょう。</p> | |

| まめ知識 | CVM |
|--|-----|
| <p>CVM は、環境評価手法の1つである仮想評価法 (Contingent Valuation Method) の略称で、近年は公共事業の評価関係でよく用いられております。</p> <p>環境評価手法は、ごく簡単に言えば、ある環境を保全・再生・創造するために必要な事業・方策に、どの程度お金を費やすのが妥当なのかをなるべく定量的に評価するための手法です。1981年、米国において、主要な規制/ルールが提案される際には、その費用と効果/便益を定量的に示すいわゆる規制影響分析 (regulatory impact analysis: RIA) を実施することを義務付ける大統領令 (12991号) が試行されました。環境評価はそれ以前から取り組まれていた学問分野ですが、この大統領令がきっかけで一躍有名になりました。</p> <p>環境を保全・再生することで得られる心身の健康・豊かさの価値を定量的に表す方法の1つとして、その環境を享受できる市民が環境保全・再生・創造事業にいくらまでお金を払う意思があるかを調べるというアプローチ方法がありますが、環境評価手法は、この金額 (支払意思額 (willingness to pay: WTP)) をどのように見積もるかという切り口で、顕示選好法 (Revealed Preference Approach) と表面選好法 (Stated Preference Approach) の2つに分類されます。顕示選好法は、賃金や消費財の市場データに隠された WTP を統計的手法によって導き出し、表明選好法はアンケート調査によって直接一般人に尋ねるといった違いがあります。</p> <p>顕示選好法の代表的なものとしてはヘドニック法 (Hedonic Price Method: HPM)、トラベルコスト法 (Travel Cost Method: TCM) などが挙げられます。ヘドニック法は、例えば近隣に公園の有無や心を和ませ豊かな景観などがその地域の住宅価格に影響を及ぼすという仮定に基づいて、そこから環境サービスの寄与する部分を統計的手法により取り出す手法です。トラベルコスト法は、レクリエーション地までの旅行費用をそのサービスの価格とみなし、それと訪問回数との関係から統計的手法を用いて消費者余剰を計算する手法です。顕示選好法の利点としては、その論理体系が明確であること、市場データに基づいた分析結果であることから、その成果の客観性が高いということが挙げられます。客観性が高いということは、当然社会的な合意を得やすく、すばやい事業展開につながるわけです。しかし、欠点もあります。それは、評価可能な対象が、ある特定の環境サービスに限られるという点です。ヘドニック法であれば住環境アメニティに関連するもの、トラベルコスト法ではレクリエーションサービスに限定されてしまいます。特に環境関連公共事業においては、存在価値や遺産としての価値、いわゆる非利用価値が重要な環境評価要素の1つとなるわけですが、市場データの統計的分析に頼る顕示選好法はこれを苦手としております。</p> <p>こうした問題点を解消するのが表明選好法です。先にも述べたように、これは人々に環境の価値を直接尋ねることで環境の価値を評価しようとするので、評価対象を極めて広く設定できます。この手法の代表格が CVM なのです。</p> <p>CVM は、アンケート調査やインタビュー調査などにおいて、提供されている環境サービスの量的減少または質的低下を避けるために受益者が最大限支払ってもよいと考える WTP、あるいはその変化を受認</p> | |

する代りに最低限補償して欲しいと考える金額、すなわち受入意志額 (WTA) を、直接あるいは間接的に質問することによって評価する手法です。その手順は概略以下のとおりです。

まず、環境が悪化してしまった状況をアンケートやインタビューの被験者に提示します。

こうした環境悪化を避けるための方策を実行するのに必要な金額は 円ですと提示します。次いでこれに賛成するか否かを質問します。

賛成の方には「最大いくらまでなら支払ってもよいですか?」と質問します。反対の方には「いくらなら支払ってもらえますか?」と質問します。

これらのアンケート結果を統計的手法により分析し、最終的に評価額を算出します。

もちろん、CVM にも欠点があります。直接回答者に環境の価値を評価してもらう方法であるため、説明の仕方や、質問者、質問方法によって評価額が少なからず影響を受けるのです。こうした影響による評価額のずれを「バイアス」といいます。現在、CVM 研究の中心は、こうしたバイアスを極力小さくするような質問形式を考案し、その形式において最も適当な統計モデルを開発することにあります。

| 技術コラム | 調査の必要性について |
|--|------------|
| <p>治水事業にもいろいろな意義がありますが、なんといってもその中心に位置するのは、流域に暮らす人々が洪水被害に遭遇することのないよう、大雨が降っても破堤や越流のない川をつくることにあります。もちろん、災害復旧事業のように、洪水によって壊れてしまった河川施設を直すという仕事も大事ですが、長期にわたって壊れることのない河川施設を設置し、これらが想定どおりの機能を発揮して洪水被害の発生を未然に防ぐことこそ治水事業の本質です。</p> <p>被害の発生を未然に防ぐには、大雨が降ったとき水位がどれだけ上昇し、どこが越流の危険にさらされ、どこに流れが集中し、どこが掘れるかをなるべく正確に予想することが必要です。では、どうすれば洪水時の危険を未然に察知できるでしょうか？</p> <p>昔は、流域の長老に聞くというのが有効な方法でした。土木は経験則といわれるのもうなずけるわけです。その一方で、流域に住む人々の資産の増大につれて川作りの超過確率をアップさせてきました。現在では、一般的な河道計画で設定される超過確率は、県管理河川では 1/50 程度、直轄河川では 1/80～1/150 程度で、重要都市域を流れる直轄河川では 1/200 に達しているところもあります。1/200 の洪水への治水対策を経験に基づいて想定するには、最低でも 1/200 の洪水を数回経験していなければならないでしょうから、流域の長老ですら経験不足ということになります。</p> <p>こうした状況の変化に伴い、河川技術者は「誰もまだ見たことのない規模の」洪水に対して被害を未然に防ぐために、危険を予め察知し、必要な対策を事前に施しておくことが求められています。これからの河川技術者には、誰も見たことのない規模の洪水流がどんな災害を引き起こし、またそれを未然に防止するにはどんな対策を立てておかねばならないかを想像する能力が求められるのです。不十分な洪水経験を水理学等の学問で補うのです。この関係を例えば「洪水予測」に当てはめると、降雨を河川の洪水流量に変換する作業をシミュレーションモデルが担当し、洪水経験（洪水観測値）がこのモデルの検証材料となります。一般に、シミュレーションモデルには調整すべきパラメータがたくさんあり、この同定がモデルの予測精度のカギを握っていますが、検証材料があればあるほどモデルの精度は向上します。このような理由により、検証材料を得ること、すなわち洪水観測結果等のいわゆる調査業務を実施することは非常に重要なのです。</p> <p>調査業務は、それを実施しても工事発注に直接結びつかないので、予算に乏しい地方自治体などでは敬遠されがちですが、実は新たな事業の必要性を探る材料となったり、事業の効果を予測したり、合意形成のための判断材料になるなど非常に重要な役割をもっています（国土交通省の事務所には必ず「調査課」が設置されています）。是非一度調査業務の役割や価値について再考してみませんか。</p> | |

第3節 基本高水

3.1 基本高水

計画の基準となる地点において基本高水を設定し、この基本高水に対して所要の洪水防御効果が確保されるように、計画を立案する。なお、計画を立案する際には、対象河川の水理・水文特性、流域の土地利用特性等を勘案した総合的な洪水防御計画を策定することを基本とする。

[解説]

河川の洪水による災害を防止または軽減するため、洪水防御計画において、施設計画の対象となる洪水のハイドログラフを基本高水と呼んでいる。

対象河川の流域にダム等の洪水調節施設が無ければ基本高水のピーク流量がそのまま計画高水流量として設定される。洪水調節施設があれば種々の基本高水パターンに対して施設規模を定め、定まった調節効果をもとに計画高水流量を設定する。

流域面積の小さい中小河川は、洪水波形がシャープであることから、貯留施設や浸透施設により洪水のピーク流量を低減させる手法が効果的であることが多い。また、こうした施設の活用は河道改修量を軽減し、河川環境の保全に役立つ場合もある。したがって、流出抑制施設や洪水調節施設を積極的に検討し、河道への負担を軽減することが重要である。

3.2 基本高水の算定法

基本高水は、計画降雨すなわち計画降雨継続時間内における計画規模に対応する降雨量を定め、これを流出モデルにより流量に換算することにより求める方法を標準とする。

[解説]

基本高水を設定するに際しては、当該河川における水理・水文資料などの基礎資料の収集・整理状況、地形特性、降雨特性、流出特性等を踏まえて、種々の方法を適用し、総合的に検討するのが望ましい。

基本高水の設定手法としては、計画規模に対応する計画に用いる降雨量と降雨量の時空間分布（以下、計画降雨という）を定め、流出計算を介して基本高水を定める方法（以下、雨量確率手法という）及び過去の洪水のピーク流量の年最大値資料を標本として確率統計解析を実施して基本高水を求める方法（以下、流量確率手法という）などがある。

一般に、県管理河川では流量観測所が無かったり、あっても流量観測の統計期間が短く、流量確率手法の適用が困難であることが少なくない。これに対し、一般的に降雨データは古くからデータの蓄積がなされている場合が多い。このため、雨量確率手法を用いて基本高水を決定する手法を扱うことが妥当と考えられる。

この際、対象降雨については、流域の規模、降雨特性さらには計画対象施設の種類等に応じて選定する考え方とする。これは、比較的降雨の空間的な分布が一様と見なされるような規模の流域と降雨の空間分布を無視しえないような規模の流域、さらにはハイドログラフの要、不要に応じて対象降雨の作成方法を選定することが望ましいからである。

第4節 水文水理資料、洪水観測資料の収集

4.1 雨量資料の収集

雨量観測データは県、気象庁、国土交通省等で実施されている。これらのデータを有効に活用して流域の降雨特性を把握する。

[解説]

雨量資料は当該流域における洪水の流出特性を把握するうえで最も基本的かつ重要な情報である。雨量資料は様々な組織で観測・収集されているので、組織の壁を越えて資料収集し、有効に活用することが望まれる。

流域の小さな河川では、流域内に雨量観測所を持たない場合がある。この際、近隣の雨量観測所での資料を流用する必要があるが、地形的な影響を考慮の上、周辺の複数の観測所を選定するものとする。

流域面積が50～100km²より小さい河川で降雨・流出特性を調べようとする場合、用いる降雨資料の時間間隔が1時間では粗すぎることもある。また、降雨資料をもとに降雨強度式を策定しようとする場合にも降雨資料の時間間隔が1時間では粗すぎる。よって、収集する降雨資料は10分間隔程度のものとする必要がある。

4.2 水位・流量観測

必要に応じて洪水に対する水位・流量観測を実施し、河道計画の際に最も重要な指標となる粗度係数等、当該河川固有の水理特性の把握に努めるものとする。

[解説]

水位・流量観測は、粗度係数、流出特性等、対象河川固有の水理特性に関する情報を把握する唯一の方法であり、河道計画、河川構造物設計等に先立ち本来は欠かすことのできないものである。

しかしながら、県の管理する河川は数百にも及び、また山梨県内には急流河川が多く雨が降り始めてから洪水が発生するまでの時間が短くて水位・洪水観測に要する十分な準備時間がとれず、観測を実施しにくいと、粗度係数、流出特性など、その河川固有の水理特性を明らかにするのが困難な状況にある。このため、河川計画、河川構造物の設計等に際しては、主として標準値を設定するなどして対応しているのが現状である。

この際、河道計画や構造物設計が安全側の成果を得よう標準値の設定等に工夫がなされている。すなわち、設計上の余裕を与えていることになるが、対象河川の規模が小さかったり事業総額が小さければ、

洪水観測に要する費用 > 設計上の余裕を与えたことによる事業費の増分

なる関係が成立し、トータルコスト的には安く抑えたことになる。しかしながら、以下に示す条件に当てはまるケースについては、事業費や時間等の制約が許す範囲において水位・流量観測を実施することが望ましい。

(1) 河川の規模や事業の規模が大きい場合

河川の規模や事業の規模が大きい場合には、一般に水位・流量観測を実施して当該河川固有の水理特性を把握し、それを事業に反映したほうがトータルコストは抑えられる傾向にある。ここで、傾向があるという表現を用いたのは、水位・流量観測を実施する前に正確なコスト評価を行うことは原理的に不可能であるからである。当然、計画上の余裕に対するコストは、河川固有の水理特性量と標準値とのずれの大小によって決まるが、河川固有の水理特性量は水位・流量観測を実施して初めて得られる値であるからである（極端な例として、観測によって得られた水理特性量が標準値と偶然一致していた場合などは、見かけ上観測が無駄になってしまう）。

上記はコスト面に特化した考え方であるが、規模の大きな河川では、治水面からも水位・流量観測を実施して当該河川固有の水理特性を把握することが求められる。例えば計画粗度係数は、実際の値よりも大きめに取れば疎通能力の評価等で安全側の検討となるが、流速が小さめになるので護岸等の施設設計の際には危険側の検討となることから、実態に合った正確な粗度係数を求めることがいかに重要であるかがい知ることができる。

(2) 河川固有の水理特性を用いなければ十分な安全性が確保できない場合

当該河川固有の水理特性量を求めなければ十分な治水安全度が確保できないと予測される場合である。具体的には次のようなケースが考えられる。

調節地・遊水地計画を行う場合

例えば河道の堤防の一部を越流堤にし、洪水時にはここをオーバーフローした洪水を一時的に調節地・遊水地に貯留する計画において、河道の粗度係数の設定誤差が大きくなると計画どおりに越流が開始されなくなる。特に、粗度係数の標準値が現実の粗度係数よりも大きかった場合、越流開始が遅れるので下流には計画以上の負担をかけることになり大変危険である。特に、粗度係数の標準値は疎通能力の確実な確保のために大きめに設定されていることが多いので、十分な注意が必要である。

さらに言うと、河川の粗度係数は流量規模によっても変わるので、越流開始時の粗度係数と計画高水流量時の粗度係数に無視できない違いが生じることもある。それぞれの水位に対応した適切な粗度係数を求めることが重要である。

分流計画を行う場合

河道の分派量は、分派後の本川・派川の水位によって支配される。つまり、分派後の本川・派川の粗度係数をかなり正確に把握しておかないと正しい分流計画ができないことになる。特に、計画粗度係数と現実の粗度係数のずれが本川・派川で異なる場合、現実の粗度係数が小さかった河道の方に流量が集中するので、その下流域は治水上危険にさらされることになる。

ポンプ排水により洪水の一部を隣接河川に分派してもらう計画の場合

ポンプによる排水量は一定であるから、例えば計画粗度係数を大きめに設定した場合、ポンプより下流の河道には計画以上の流量が流れることになり治水上危険である。

水位を時系列的に把握するためには水位観測所の設置が不可欠となる。ただし、洪水中の最高水位に限れば、洪水後に実施する痕跡水位測定により求めることができる（技術コラム「痕跡水位の活用」を参照のこと）。

水位・流量観測手法の詳細については、「河川砂防技術基準（案）調査編」等の文献を参照されたい。

| 技術コラム | 痕跡水位の活用 |
|--|---------|
| <p>河川の粗度係数は、原理的には観測地点でのみ得られるデータ、すなわち2断面における水位と流量が求められれば Manning の式等を用いて算出することができますが、より正確に把握するには水位縦断を求め、流量観測値と組み合わせて不等流計算により求める必要があります。しかしながら、河道のある程度広い範囲にわたって水位を求めるのは施設のにもマンパワー的にも非常に大変です。</p> <p>そこで活用したいのが「痕跡水位」です。痕跡水位とは、洪水後に現場踏査し、洪水中に流されたゴミや泥の最高位置を河道縦断的に調べたものです。これは、洪水時の最高水位を縦断的に連ねたものに相当します。流量観測によりピーク流量を把握することができれば、痕跡水位と合わせて粗度係数の逆算、流速・フルード数の評価など水理特性の把握に必要な多くの水理量を得ることができます。</p> <p>痕跡水位の測定にはいくつかの注意が必要です。以下に列挙しましょう。</p> <p>測定を洪水後なるべく早く実施すること</p> <p>河道内植生は、葉に泥が残るので痕跡水位測定には非常に便利な指標なのですが、特に夏場は結構短時間に伸びます。また、泥が付着した時には横倒しになっていたのに、時間の経過につれて再び起き上がってくることもあります。ですから、洪水発生後にすばやく測定する必要があります。</p> <p>誤差の内容をわきまえて解析に用いること</p> <p>既往の研究成果によれば、痕跡に含まれる誤差は急流河川ほど大きく、場合によっては 1m に及ぶこともあるようです。このことを念頭に不等流計算などを実施しなければなりません。具体的には、計算水位と痕跡水位は大局的に合わせるようにし、細部にこだわらないことが必要です。</p> | |

第5節 流出解析手法の選択

流出解析は、流域内の降雨を河道の流量へ変換する解析のことである。流出解析にあたっては、流域の規模および流量観測資料の有無や計画対象施設の種類、内水河川の扱い等の計画条件、将来の土地利用の変化や河道改修による流出特性の変化等を考慮して適切な流出計画手法を採用する。

5.1 流出計算手法の種類と特徴

流出解析手法には様々なタイプがあるが、よく用いられているのは以下の5法である。

合理式法

合成合理式法

貯留関数法

準線形貯留型モデルを用いる方法

等価粗度法

各手法の概要、長所、短所を次表にまとめる。

表 2.5.1 流出解析手法の比較

| 手法 | | 概要 | 長所 | 短所 |
|--------|-----------------|--|--|--|
| 線形モデル | 合理式法 | ピーク流量を流域面積 × 降雨強度 × 流出係数で表現。 | ピーク流量を求める最も簡単な手法。水位・流量データがなくても計算可能。 | ハイドログラフを求めることができないので、ダム等の貯留施設の検討には利用不可。流域面積が大きいと適用が困難となる。精度の評価が困難。 |
| | 合成合理式法 | 合理式で求められるピーク流量を重ねて統合する。 | 最も簡単にハイドログラフを作成可能。 | 流域面積が大きいと適用が困難となる。精度の評価が困難。 |
| 非線形モデル | 貯留関数法 | 流域内の貯留高と流出量の関係を貯留関数と称する非線形方程式で表現したもの。直轄河川を主体にわが国では実績が多い。土地利用の変化を考慮した方法も提案されている。 | 実績が多く、参考となる。流域の多くが山地の場合に適合度が高い傾向にある。定数検証が比較的容易である。流域分割、流域系統の作成の良否がさほど結果に影響しない。 | 概念モデルであるため定数の評価に水理学的裏づけができない。解析対象洪水の規模が定数検証した洪水規模と大きく異なる場合、精度に問題が生じることがある。平地や都市域での再現性に劣る傾向がある。 |
| | 準線形貯留型モデルを用いる方法 | 有効降雨強度の流出への影響を考慮し、非線形性を指数単位関として表す。流域の開発等による影響を考慮しやすいため、総合治水特定河川などで実績がある。 | 流目毎の流出計算結果を合成するので、地目の変化や地目毎の貯留・浸透対策の効果等を把握しやすい。モデルの構築が比較的容易。 | 実績洪水での検証例が少ない。貯留効果の大きなところでは、特に流量低減部での再現性に難がある。 |
| | 等価粗度法 | 流域を幾つかの矩形斜面と流路が組み合わされたものと見なし、流れをkinematic waveとして解く方法。流域の流出性状を等価粗度で表現する。流域の利用状況の変化の影響も考慮可。 | 表面流出が卓越する都市域、急勾配流域などでの再現性が高い。等価粗度を通じて流域の開発等の影響を評価できる。 | モデルの構築が難しく、また流域分割や斜面長の取り方に計算精度が大きく影響を受ける。実績が少なくパラメータの同定が難しい。 |

5.2 流出計算手法の選択方針

流域の規模

雨域の空間スケール（ほぼ同じ雨量が降っていると思われる面積）よりも河川の流域面積が小さい場合には、合理式を用いて簡易にピーク流量を算出してもそれほど大きな問題は生じない。その目安となる河川の流域面積は、河川砂防技術基準によると流域面積が 200km²以下とされているが、レーダ雨量計をもとに調査した結果等の文献を基に、降雨時間・地域分布の一樣性が保たれる流域の規模を整理すると 50 km²程度未満となる。

Check Point ~ 流域面積が 200km²を超える河川で合理式を適用する場合の注意点

流域規模がこの規模より大きい河川において合理式を適用する場合には、流域における降雨が均一という合理式の前条件、および流出係数等の適用範囲に問題が生じるおそれがあるので以下の確認を行う。

既往洪水における降雨量の時空間分布を調べ、一樣とみなせるかをチェック

できれば既往洪水に対して流出係数を逆算し、河川砂防技術基準等に示されている推奨値と比較する。

洪水調節施設の有無及び内水河川の扱い

洪水調節施設を検討する場合や内水処理計画を検討する場合には、ハイドログラフが必要となる。ハイドログラフの作成方法としては、貯留関数法、準線形貯留型モデルもしくは等価粗度法等の流量観測値による検証可能な流出計算手法によるのが妥当と考えられる。

流量観測値が得られない河川においても、例えば内水河川では各流出計算手法の標準的な定数を設定しつつ湛水位資料等を検証材料とすれば適用可能である。

合理式の適用が可能な流域規模では、合成合理式を採用することもできる。

将来の流出特性の変化

将来の土地利用変化等による流出特性の変化については、中小河川ではその影響が大きいため、流出計算に反映させる必要がある。合理式を適用する場合には、基本的に流出係数を将来的に想定される土地利用をもとに設定することとし、洪水到達時間の変化に対しても対応可能であることが望まれる。

第6節 対象降雨

対象降雨は、流域の規模、降雨特性、計画対象施設の種類、雨量資料の蓄積状況等を勘案しつつ、適切な方法により作成する。

[解説]

河道計画、施設計画策定上重要な入力条件となる基本高水は、既往の雨量資料をもとに所定の計画規模に対応する対象降雨を定め、流出計算を通じて流量に変換されることで得られる。

対象降雨の作成方法は、降雨強度式を用いる方法と実績降雨を引伸ばす方法の2つがある。6.1項以降に、両手法による対象降雨の作成方法について記す。

| まめ知識 | 対象降雨と計画降雨 |
|--|-----------|
| <p>平成 16 年の河川砂防技術基準計画編の改定に伴い、「計画降雨」という言葉は「対象降雨」と改められました。この言い換えの最大の理由は、「計画降雨」イコールある特定の降雨パターンを表すという誤解を避けるためであります。実際の流出解析においては、過去に大きな出水をもたらした複数の降雨データを収集し、これらを引伸ばすなどしてインプットデータとすることになるので、「計画降雨」はひとつではないのです。その点、「対象降雨」と呼び改めればそれが複数個あっても違和感がありませんね。</p> | |

6.1 降雨強度式を用いる方法

流域の規模が小さく降雨量の地域分布を均一とみなせる場合は、降雨強度式を用いて計画降雨を作成することができる。

降雨強度式を用いる方法は、洪水到達時間内降雨強度のみを求める方法と、モデルハイトグラフを作成する方法の2つに分類される。

[解説]

1) 確率降雨強度式により洪水到達時間内降雨強度を求める方法

この方法は、主として合理式による流出解析と組み合わせて用いられる。その適用範囲は一般に流域面積が50km²未満とされているが、降雨量の時空間分布の検証を行い、流域内で均一とみなされる場合にも利用可能である。

確率降雨強度式は、降雨量の時空間分布が均一とみなされる地域ごとに、各地域で蓄積された降雨資料をもとに作成されるのが普通である。山梨県においても、甲府、韮崎、黒駒、市川大門、身延、南部、河口湖、大月の8地域ごとに提案されている。以下にこれを示す。

< 山梨県降雨強度曲線 >

山梨県では、全県を以下の9地域に区分し、それぞれ独立の降雨強度曲線を与えている。

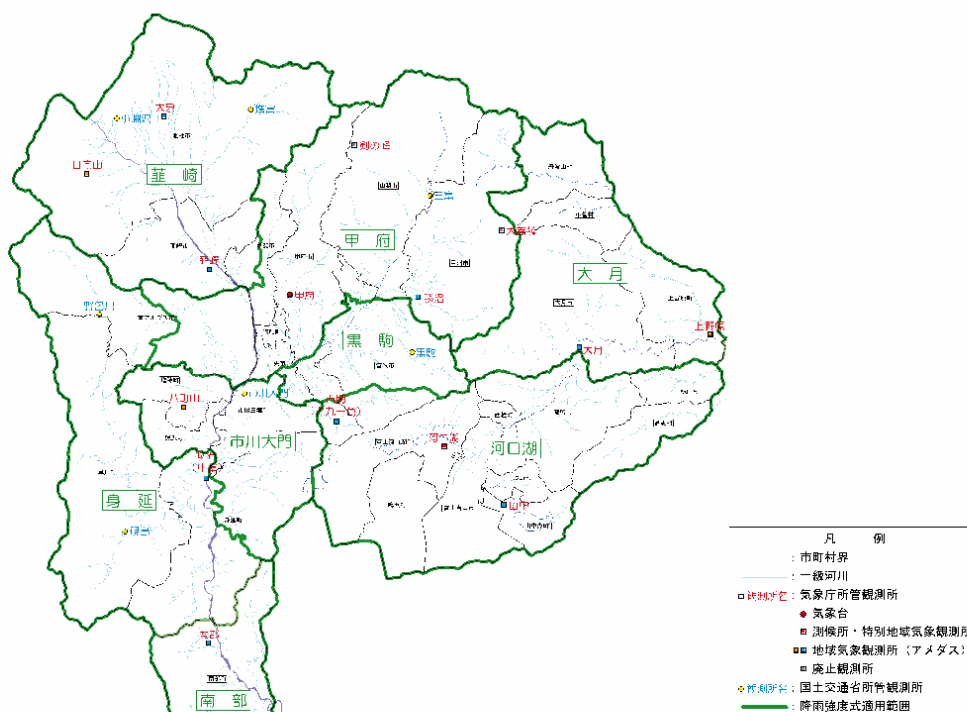
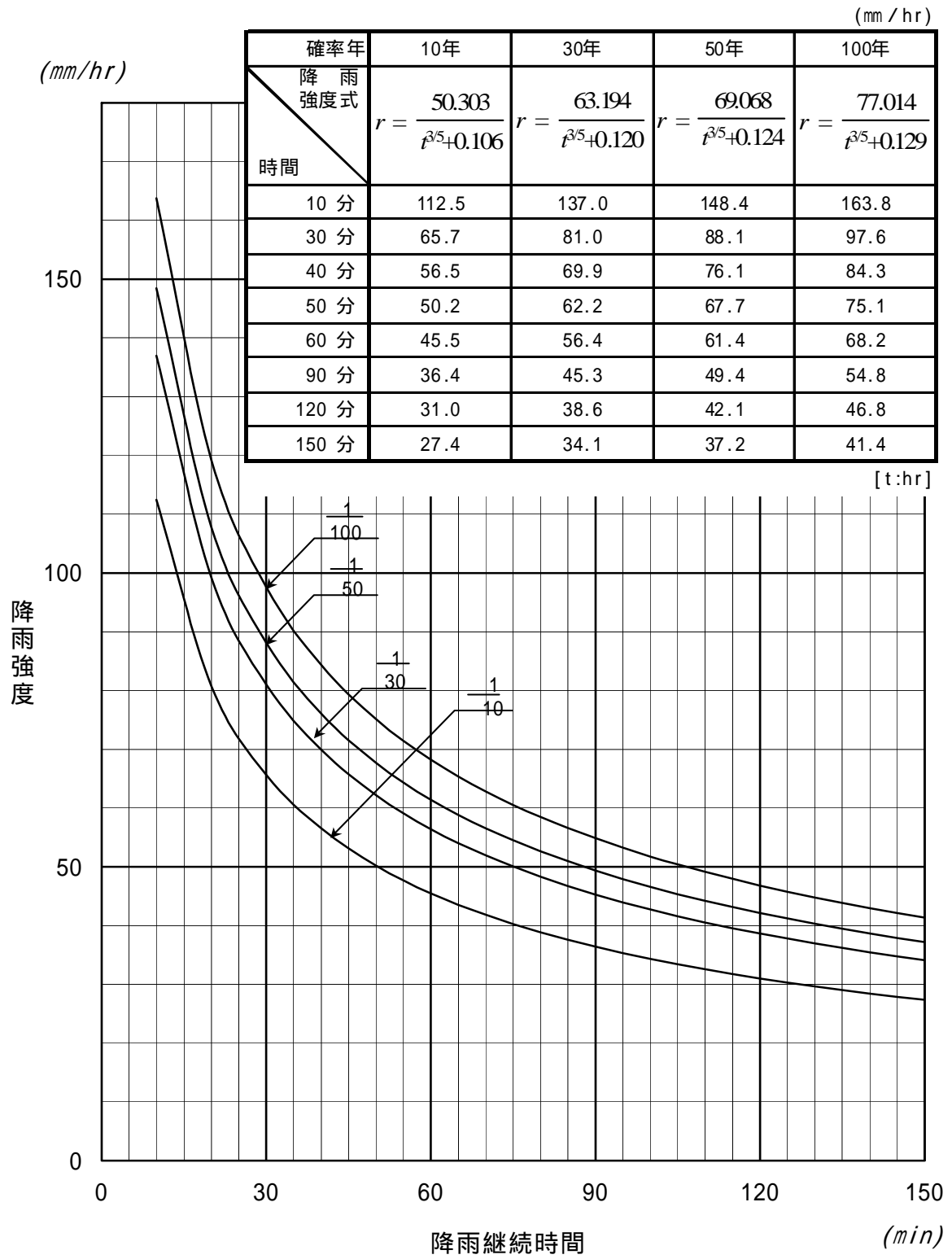
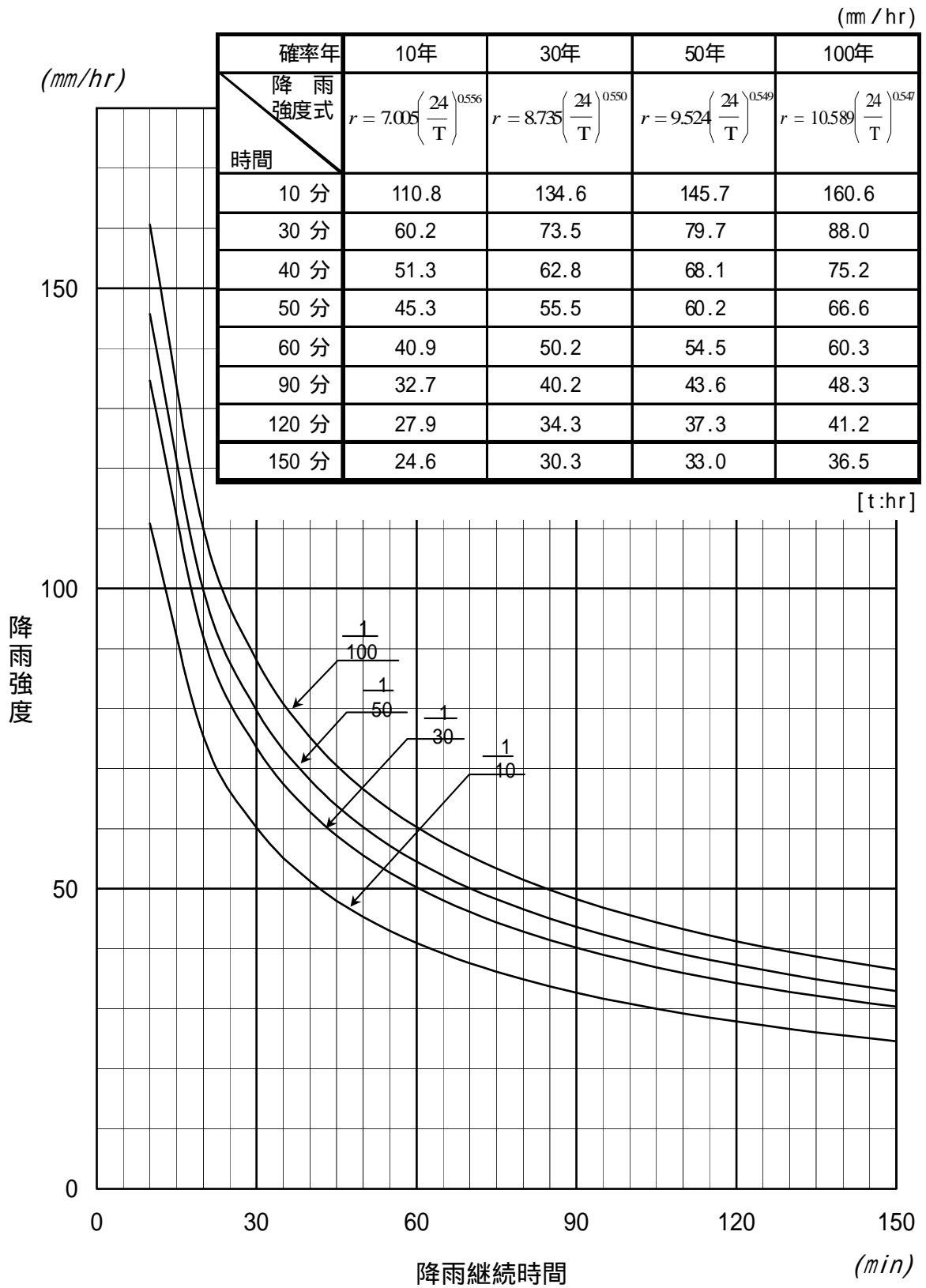


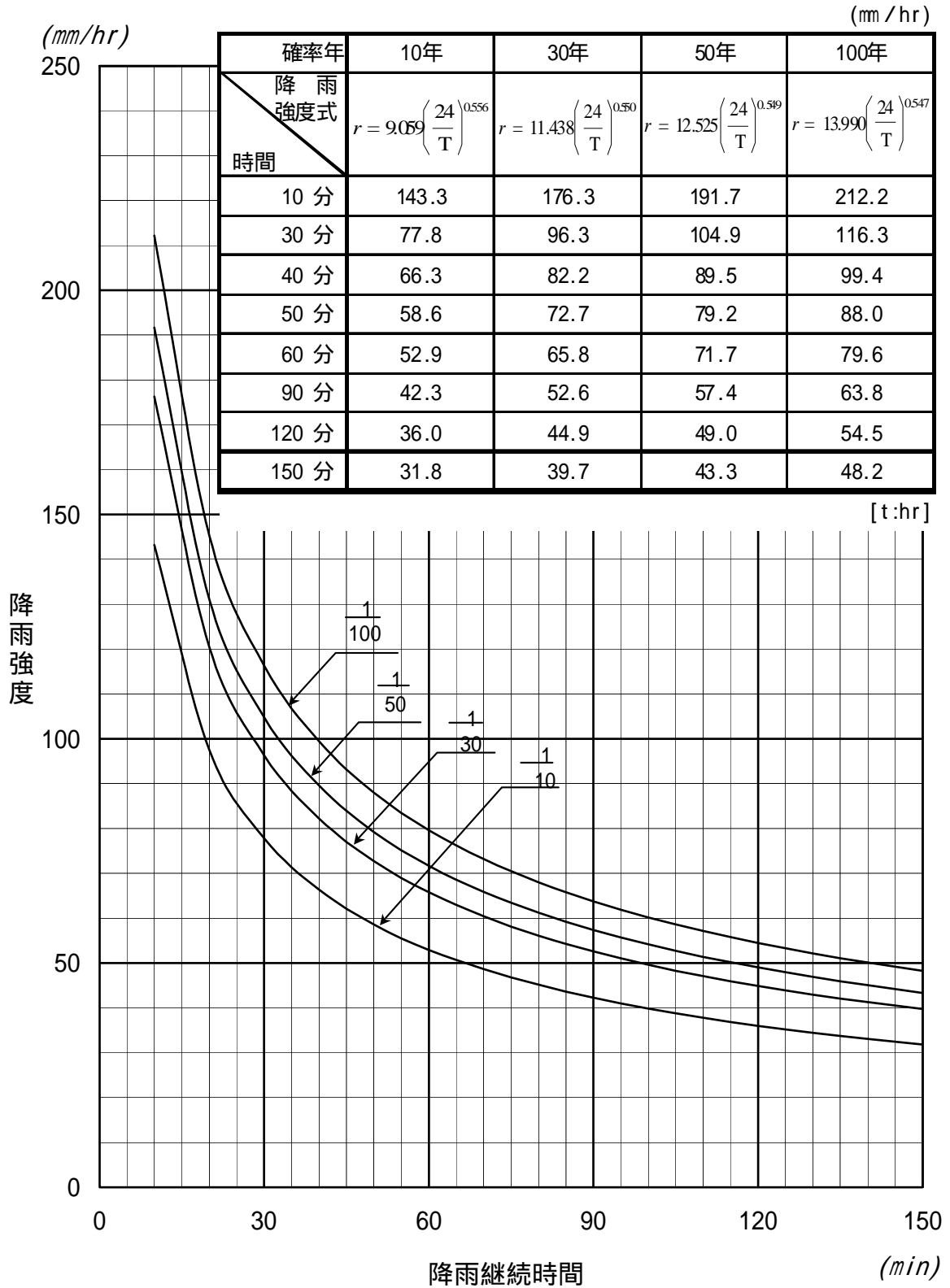
図5-4 降雨強度式の適用範囲図
縮尺S=1:350,000

甲府

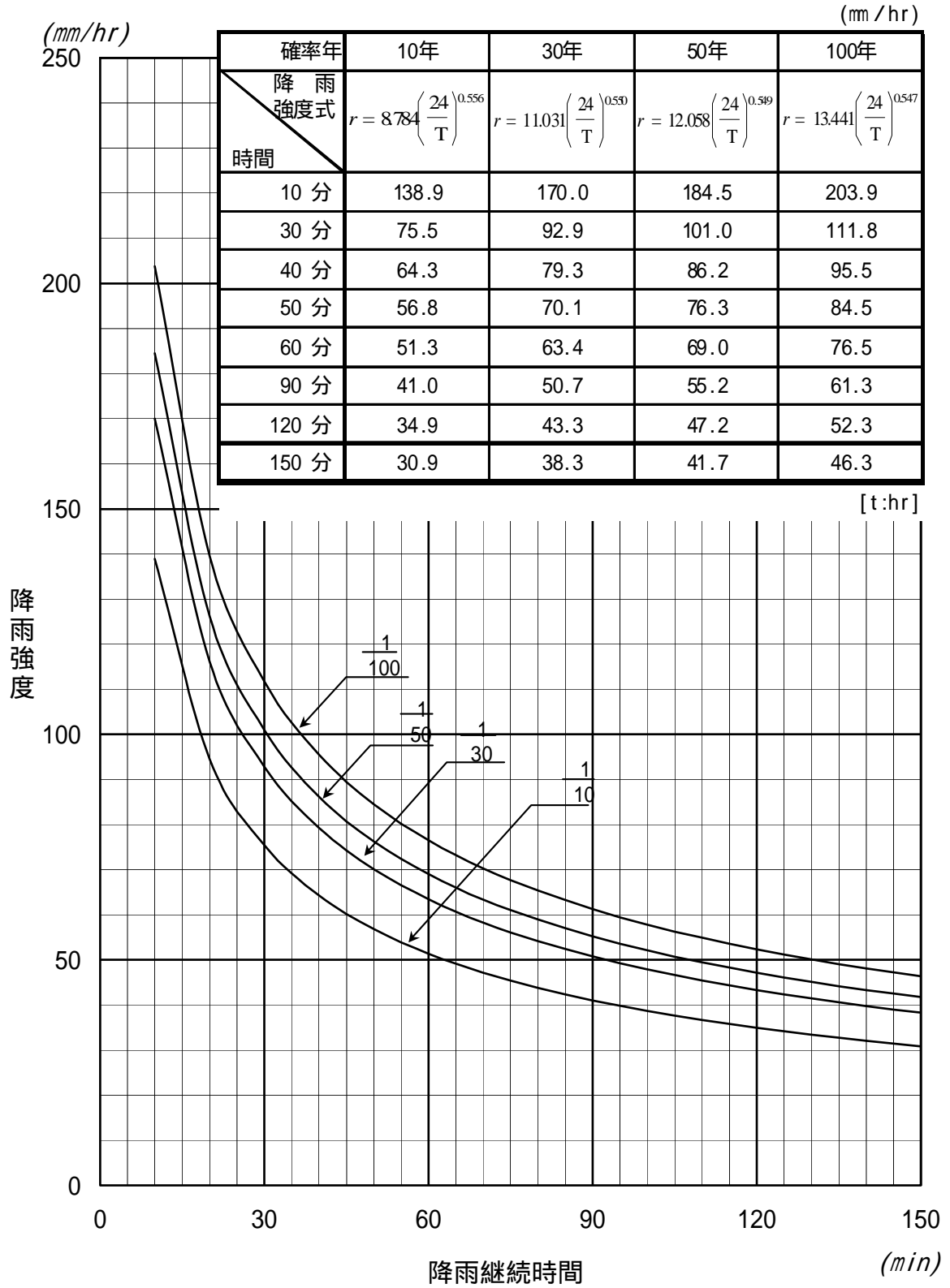


菲崎降雨強度曲線

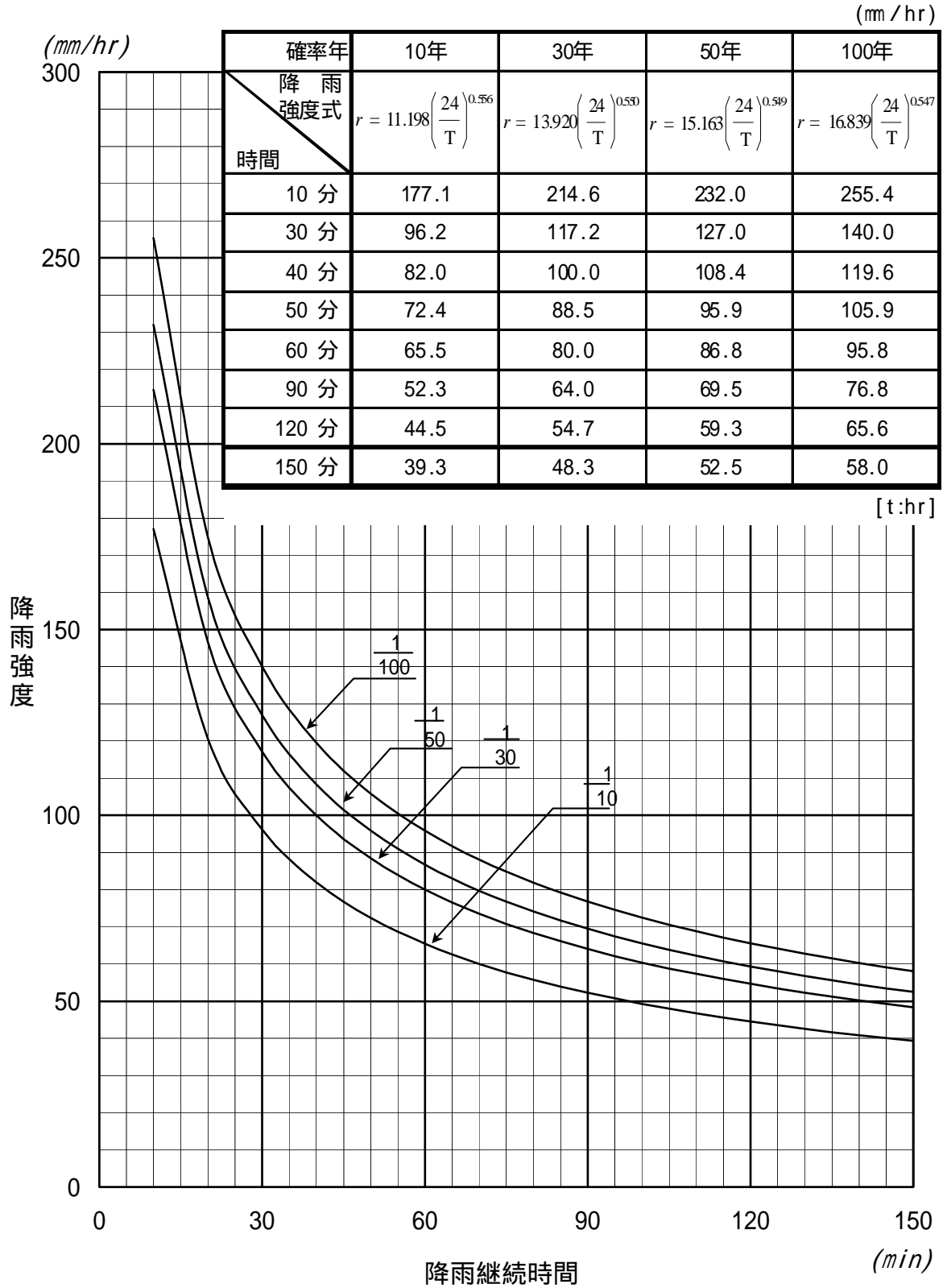




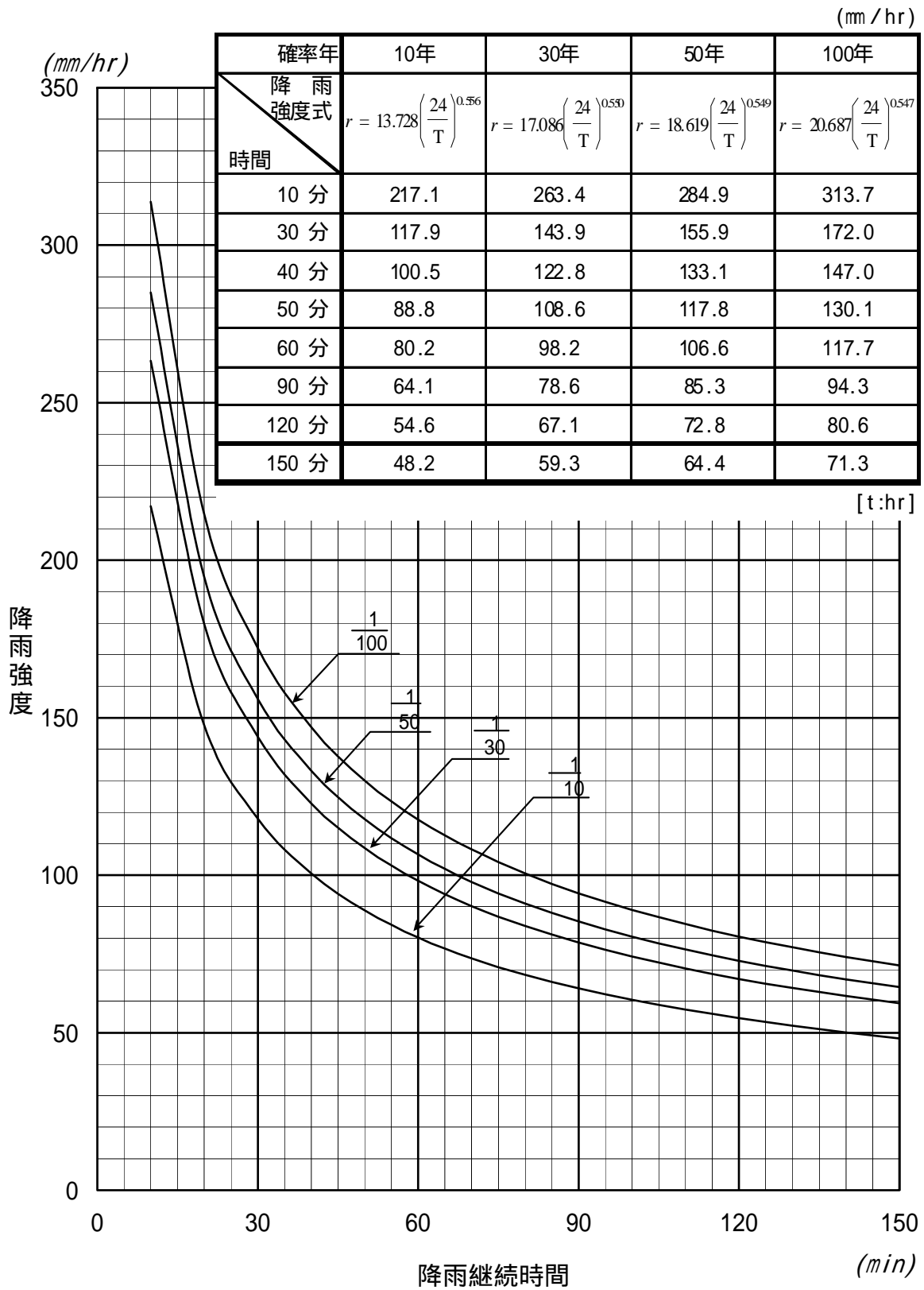
市川大門



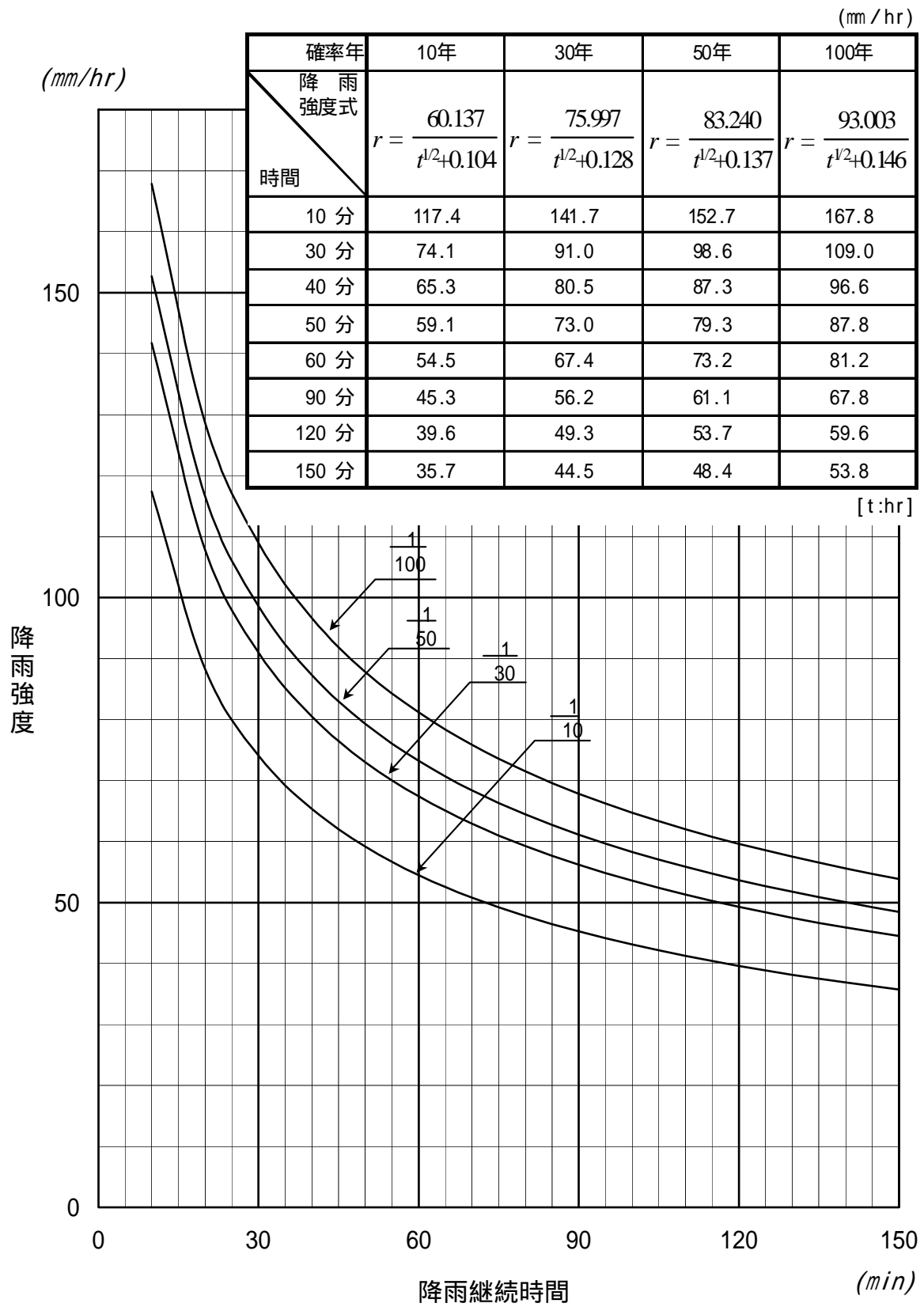
身延



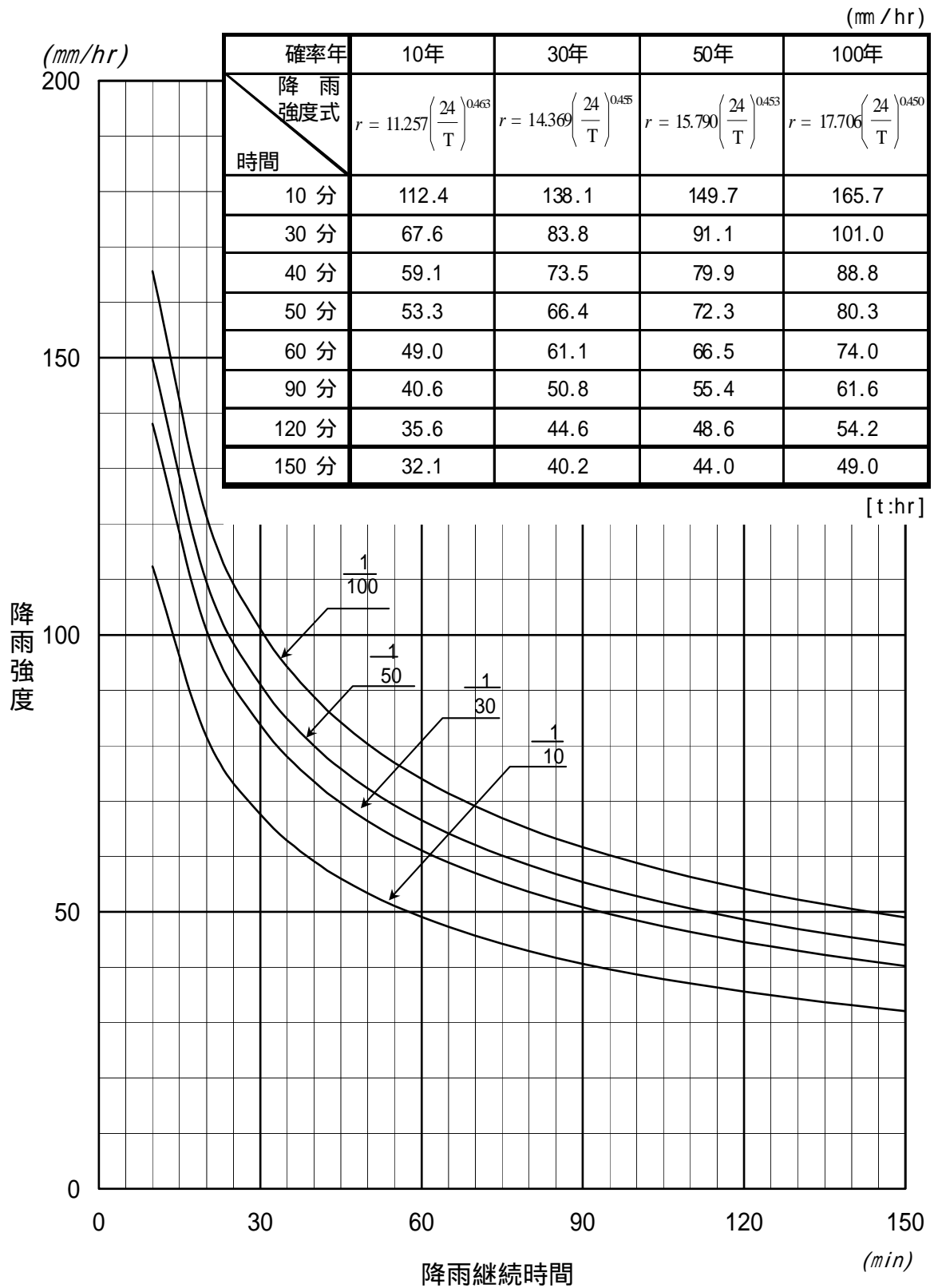
南部



河口湖



大月



2) モデルハイトグラフを作成する方法

洪水調節施設の検討を行う場合等は、流出計算のアウトプットにハイドログラフが必要となる。この際にはハイトグラフをインプットとする必要がある。ハイトグラフは 6.2 項に述べる実績降雨を引伸ばす方法によって作成されることが多いが、確率降雨強度式から求めることもできる。

Check Point ~ 計算時間間隔

流出解析に合理式法を用いる場合

モデルハイトグラフは基本的には洪水到達時間を時間単位として作成する。

流出解析に貯留関数法を用いる場合

貯留関数法は、以下に示す 2 つの数値解析上の安定条件を満足する必要がある。

$$(1) \quad \Delta t < \frac{2K \cdot p}{Q^{1-p}}$$

$$(2) \quad \Delta t < \frac{2K}{Q^{1-p}}$$

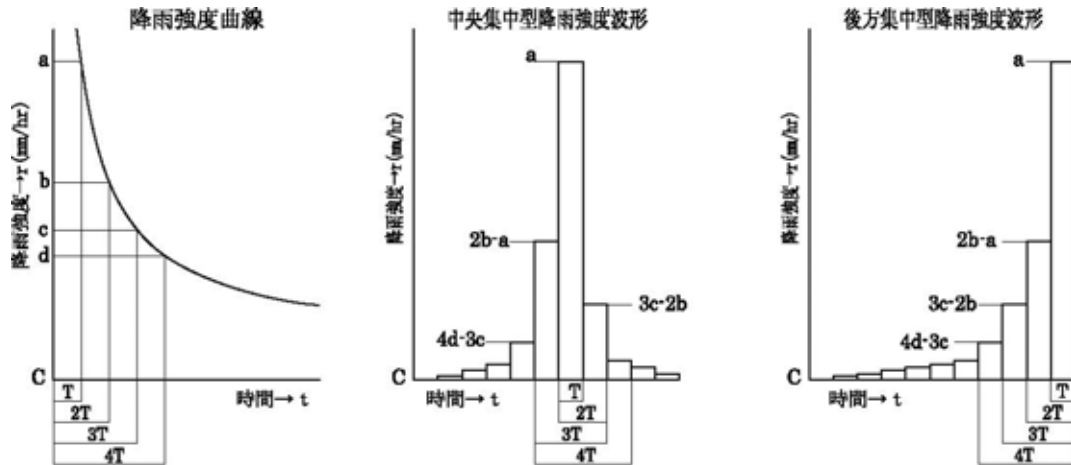
ここに、 t : 時間刻み、 K : 係数 ($S = KQ^p$)、 S : 貯流量、 p : べき係数、 Q : 流出量、である。直轄河川のような大きな河川では t は 1 時間でこれらの条件を満たすことが多いが、県管理河川ではもっと短くしなければならないことがよくある。

Check Point ~ 対象降雨継続時間

ハイドログラフの算定を目的とした場合、継続時間が短すぎると降雨損失の影響や洪水調節施設の検討に問題が生じる可能性がある。このような場合、対象降雨継続時間は、既往主要洪水の継続時間程度とする必要がある。

Check Point ~ モデルハイトグラフの波形

モデルハイトグラフの降雨波形としては、中央集中型と後方集中型が考えられる。一般に、洪水調節施設の容量を設定する場合には、後方集中型を採用するのが安全側になる。



ここに T : 洪水到達時間もしくは計算時間間隔で、
 計算時間間隔 \leq 洪水到達時間であり、計算時間 ≤ 1 時間である。
 *上記波形は、降雨強度波形であり、降雨波形でないことに注意する。なお、降雨波形はこの波形から作成すればよい。

モデルハイトグラフの波形によっては、計算されたピーク値や総流出量等が小さめとなる場合がある。既往最大の実績洪水ハイドログラフもしくは実績降雨波形で計算された流出波形と比較し、モデルハイトグラフによる流出計算結果が過小とならないよう確認しておく必要がある。

6.2 実績降雨を引伸ばす方法

実績降雨の引き伸ばしにより対象降雨を設定する場合には、引き伸ばし対象となる対象降雨継続時間について検討を行い、時間分布や地域分布が異常なものとならないよう十分検討する。

6.2.1 雨量資料の収集

基本的に、計画の基本量として時間単位の確率降雨量を求めるため、毎年あるいは必要に応じて非毎年の確率処理が可能となる時間雨量資料を収集する。なお、流域面積が50～100km²未満と小さい場合には、1時間雨量では降雨・流出特性を正しく把握できないため、10分単位の雨量資料を収集するものとする。

6.2.2 検討対象洪水の選定

過去の主要洪水をもとに、流出量の大きい洪水、総雨量あるいは短時間雨量が大きく計画決定に寄与すると考えられる洪水（10個程度）を対象として、雨量資料、流量ハイドログラフ、ダム等の貯留施設の流入・放流量資料、氾濫情報、降雨の原因等を調べる。

このデータを総合的に判断し、検討対象洪水を選定する。複数の洪水を合成して検討対象洪水とすることもできる。

6.2.3 流域平均雨量

流域に複数の観測所がある場合は、ティーセン法、メッシュ法、等雨量線法等により流域平均雨量を算出する。なお、流域の規模が小さく（流域面積が50km²程度以下）、降雨の地域分布が一様と見なされる場合は1箇所のデータをもって代表することが出来る。

6.2.4 対象降雨継続時間

対象降雨継続時間は、対象降雨量を設定する継続時間であり、実績降雨を計画降雨に引伸ばして作成する場合には引き伸ばし対象の降雨継続時間となる。

洪水継続時間が数時間程度の規模の河川を対象とする場合、あまり短い継続時間を設定すると対象降雨量とピーク流量との相関が低くなる等の問題が生じる恐れがあるため、既往の主要な洪水実績の継続時間をもとに設定するのが望ましい。なお、おおよその目安は次表のとおりである。

表 2.6.1 対象降雨継続時間（参考値）

| 流域面積(km ²) | 河道単独の場合 | 洪水調節施設がある場合 |
|------------------------|------------|-------------|
| 50 未満 | 洪水到達時間 | 1 日 |
| 50～100 | 洪水到達時間～1 日 | 1 日 |
| 100～1000 | 1 日 | 1～2 日 |

6.2.5 洪水到達時間

雨量ハイレトグラフと流量ハイドログラフが適切に整理されている場合には、まずハイレトグラフの重心を求め、これから流出ピークまでの時差を流出の遅れ時間 t_g とし、さらにこれを 2 倍することで洪水到達時間とする（図 2.6.1 参照）。あるいは、「中小河川計画の手引き p.41～」の方法により決定することが望ましい。

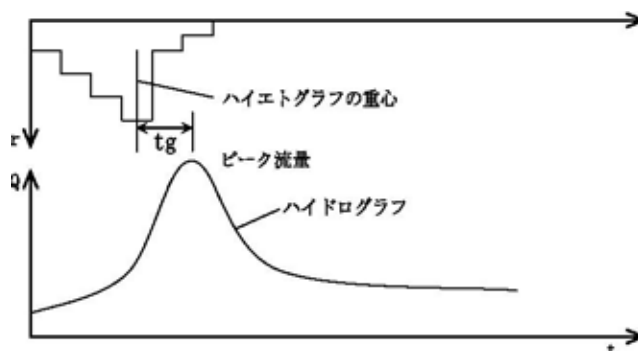


図 2.6.1 降雨・流量データがある場合の洪水到達時間の決め方

十分な流量データが得られていない場合には、洪水到達時間は合理式の洪水到達時間の算定法に従い計算するものとする。

6.2.6 対象降雨量

計画基準点の他、ダム計画地点等の主要地点での継続時間内の実績流域平均雨量から確率処理により所定の計画規模の対象降雨継続時間内降雨量を設定する。

確率分布形としては、ゲンベル、GEV、SQRT-ET 等の分布がある。実績降雨データをこれらの手法に沿って確率処理し、どの分布形に最も良く適合するかを判断する。適合性の評価については、確率紙上で標本と理論曲線との適合度を目視により判断する方法もあるが、より客観的な手法として SLSC 値を用いる方法もある。

確率分布形の安定性を評価する指標としては、jackknife 法を用いることとする。

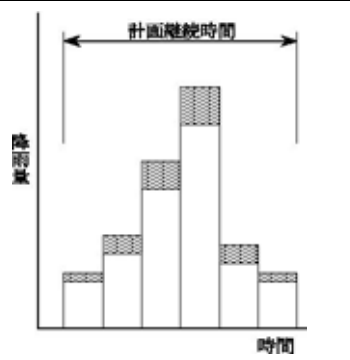
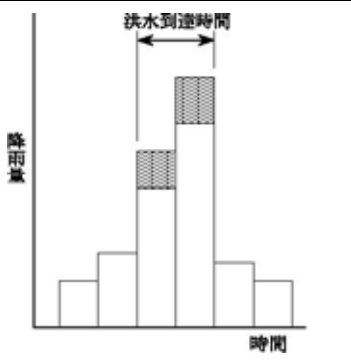
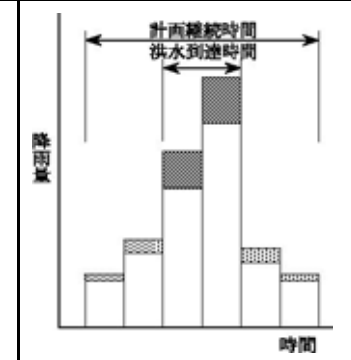
6.2.7 対象降雨波形（ハイレトグラフ）

対象降雨継続時間における実績降雨量を対象降雨量まで引伸ばして基本高水検討対象ハイレトグラフ作成する。なお、実績降雨の計画降雨継続時間内雨量が対象降雨量を上回っている場合には、降雨の引縮めは行わず実績降雨そのままを用いる。

実績降雨の引伸ばし方法は原則として 型とするものとし、不都合が生じる場合等は、 型を採用することとする。 型の場合は、対象降雨継続時間内雨量を一定率で引伸ばす。 型の場合は一連の降雨の中から洪水到達時間内降雨量が最大となる時間帯の降雨を計画規模まで引伸ばす。 型の場合

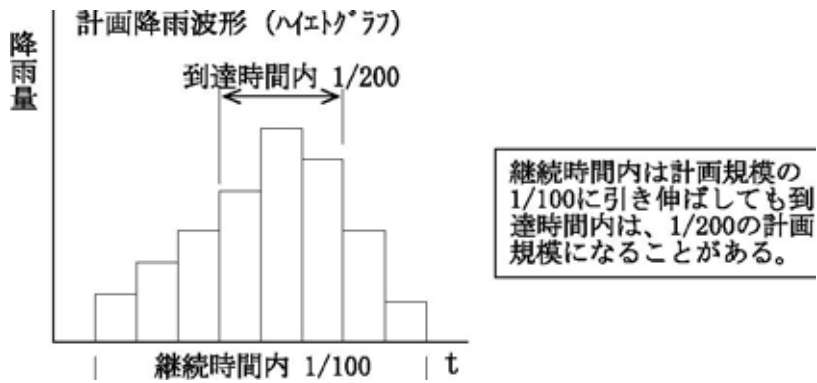
は、まず 型と同様一連の降雨の中から洪水到達時間内降雨量が最大となる時間帯の降雨を計画規模まで引伸ばし、その後、洪水到達時間以外の計画降雨継続時間内雨量を一定率で引伸ばす。なお、計画降雨継続時間前後の降雨については実績を採用する。

表 2.6.2 降雨の引伸ばし方とその特徴

| | 型引伸ばし | 型引伸ばし | 型引伸ばし |
|----|---|--|---|
| |  |  |  |
| 方法 | 計画継続時間内雨量を計画規模の確率雨量の値になるよう一定率で引伸ばす。 | 洪水到達時間内の雨量のみを計画確率年に相当する雨量の値に引伸ばす。 | 型で引伸ばしたのち、計画継続時間内雨量を計画規模の確率雨量の値になるよう一定率で引伸ばす。 |
| 特徴 | 一般に大河川に用いられる。引伸ばし後の短時間雨量が過大になったり、降雨量とピーク流量の関係について非線形性が増すため、計画規模と流量の生起確率が対応しづらくなる可能性がある。 | 合理式の考え方に近く、中小河川に適用しやすい。降雨量とピーク流量との相関が高くなるので、計画規模と流量の生起確率が対応しやすくなる。ダム等の計画を行う場合には、ピークのみならずボリュームの観点から選定する必要がある。 | 型、型の欠点を補うものであるが、分割流域によっては洪水到達時間以外の時間内の降雨強度が大きくなる等の不都合が生じていないか確認しておく必要がある。 |

Check Point ~ 対象降雨波形の妥当性の確認 1 (時間分布のチェック)

対象降雨継続時間が比較的長時間になる場合、引伸ばし(型)により短時間雨量(到達時間程度)値が過大な確率値をとることがある。このため、計画規模に対して異常に過大な規模の短時間(到達時間以内)雨量となるものについては計画対象から除外する。



Check Point ~ 計画降雨波形の妥当性の確認 2 (地域偏差のチェック)

降雨の地域偏差が大きい降雨では、計画基準点上流域で一律に引伸ばすと地域によっては過大な雨量となることがある。このため、流域内降雨の地域偏差について検討し、他の降雨と比較して異常なものについては計画対象から除外する。

第7節 流出計算1（合理式による方法）

7.1 概要

本項では、流出計算手法の一つである合理式法について概説する。

[解説]

合理式法は、現存する種々の流出解析手法のうち最も作業の容易な手法である。7.2 項で詳述するが、基本的には、ある流域に降った雨の総量に流出係数と呼ばれる補正係数をかけて流出量とするもので、地面に到達した雨水の一部が地中に染み込み一旦浸透流となり、流域に貯留しながら河川に流出されるというプロセスを表現することができない。つまりこうしたプロセスが流出に大きな影響を及ぼす流域、端的に言えば大きな流域では合理式の適用が困難であることが想定できる。実際のところ、5.2 項で述べたとおり、河川砂防技術基準（案）調査編では、合理式の適用可能な目安として流域面積 200km² 以下を挙げている。

流出計算は本来既往洪水データを用いてパラメータの同定をすべきであり、合理式も例外ではない。ただし、合理式法においては、直接的には唯一のパラメータである流出係数のデータが過去に数多く取られており、流域の地被状態と流出係数との関係が大まかなながらも既に対応付けられていること、モデル自体がそもそも高い精度を期待できるものではなく例え実績洪水に基づいたパラメータ同定を行ったとしても、洪水規模や降雨パターンが変わった場合にもそのパラメータが適用可能なものが保証できないこと等の理由から、現在では実績洪水データがなく、しかも流域面積が小さい河川に対する簡易的な流出計算法との位置づけがなされている。

合理式による流出計算で求められるのは、基本的に洪水のピーク流量だけであり、洪水の増水～減水過程を求めることができない。「合成合理式法」は時間雨量など時間方向に離散化された降雨データを与えることで流量ハイドログラフを求めることができるが、貯留現象等、流出現象の本質的な部分を再現できない状態でのかなり粗い近似解を与える便宜的な手法と考えるべきである。

7.2 手法の内容

本項においては、合理式の基本的な説明、流出係数、洪水到達時間、洪水到達時間内平均雨量強度、流域面積、基本高水の決定方法について概説する。

7.2.1 合理式

合理式法の計算に際しては、流域及び河道の特性を踏まえ、適切な洪水到達時間、流出係数等の流出定数を採用するものとする。

$$Q = \frac{1}{3.6} f \cdot r \cdot A$$

ここに、 Q : 流量 (m^3/s)、 f : 流出係数、 r : 洪水到達時間内平均雨量強度 (mm/h)、 A : 流域面積 (km^2)、である。

7.2.2 流出係数 (f)

合理式の流出係数は、ピーク流量に寄与する到達時間内の降雨の流出率を示すものであり、合理式自体の仮定に基づく種々の誤差を含んだ計画に用いる定数として解釈されるべきものである。

f の値は下表を標準とし、将来も見込んだ土地利用ごとの流出係数を当該河川の土地利用面積で加重平均し、流域平均の流出係数とする。

表 2.7.1 合理式の流出係数

| 流域の土地利用形態 | 流出係数 f |
|-----------|----------|
| 密集市街地 | 0.9 |
| 一般市街地 | 0.8 |
| 畑・原野 | 0.6 |
| 水田 | 0.7 |
| 山地 | 0.7 |

(河川砂防技術基準計画編より引用)

7.2.3 洪水到達時間 (T)

洪水到達時間 T は、原則として雨水が流域最遠点から河道に達するのによする流入時間 T_1 と、河道を流下するのに要する流下時間 T_2 の和とする。

$$T = T_1 + T_2$$

1) 流入時間 T_1

流入時間 T_1 は、将来の土地利用計画、類似区域の例等を参考にして定めるものとする。なお、河川砂防技術基準計画編においては、 T_1 について以下のように標準値を紹介しているが、山梨県の河川の場合、一般には 30 分としてもよい（砂防河川では 20 分）。

流域面積が著しく小さく、 $T_1=30$ 分と設定することが現実的でない場合には、計画対象河川の流域面積に応じて以下のように補正してもよい。

$$T_1 = \sqrt{\frac{A}{A_0}} T'$$

ここに、 T' ：下表より読み取った値（一般には 30min）、 A_0 ：流域面積の基準値（=2km²）、 A ：対象流域の面積、である。

表 2.7.2 流入時間 T_1 (T')

| 地域の特性 | 流域面積の標準値 A_0 | 流入時間 (T_1 , T') |
|----------|------------------|-----------------------|
| 山地流域 | 2km ² | 30min |
| 特に急傾斜面流域 | 2km ² | 20min |
| 下水道整備流域 | 2km ² | 30min |

2) 流下時間 T_2

常時河谷を成している最上流点を探し、その地点の標高 H_1 と流域出口の標高 H_2 、河道長 L を求めて次式により河床勾配 I を求める。

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

流下時間 T_2 は、河床勾配が 1/20 より急な場合はルチハの式、緩い場合はクラークヘンの式を用いて求める。

[ルチハの式]

$$T_2 = \frac{L}{W}$$

$$W = 72I^{0.6}$$

ここに、 W ：洪水の流下速度、である。

[クラークヘンの式]

表 2.7.3 クラークヘンの式の値

| I | $I > 1/100$ | $1/100 > I > 1/200$ | $I < 1/200$ |
|-----------------|-------------|---------------------|-------------|
| $W(\text{m/s})$ | 3.5 | 3.0 | 2.1 |

7.2.4 洪水到達時間内平均雨量強度

合理式において用いる洪水到達時間内平均雨量強度は、原則として確率別継続時間内降雨強度曲線により求めるものとする。

7.2.5 流域面積

流域面積の決定にあたっては、分水嶺、道路等による流域界及び下水路、農業用水路等の排水路系統等を十分に調査した上で決定するものとする。

7.2.6 基本高水の決定

合理式による方法では、基本高水=合理式により得られるピーク流量となる。

第8節 流出計算2（貯留関数法）

8.1 概要

本節においては、流出計算手法の一つである貯留関数法について概説する。

[解説]

貯留関数法は、降雨が流域で貯留されつつ流出される現象を、パルスデータをなだらかな波形に変換可能な貯留関数を用いることで模した概念モデルである。この方法は、多くの直轄河川で用いられており、わが国の標準的流出解析手法としての位置づけが確立している。このモデルでは、実際に現地で観測された洪水データと降雨データを用いてパラメータの同定を行う必要があるが、モデル自体が概念的なものであるため、同定されたパラメータとその流域の地質的・地形的特徴とを関連付けるには限界がある。つまり、流域の地質的・地形的特徴から流出係数を曲がりなりにも決定できる合理式法と比べるとその手順は煩雑である。

現在ではコンピュータの発達を背景に様々なモデルが提案され、その多くは流出現象をより物理的に表現することによってモデルの普遍性を高めようとするものであるが、貯留関数法にとって代わるには技術面以外にも様々な問題があるようである。

8.2 手法の内容

本項においては、貯留関数法の基本、流域分割と流出系統の作成、モデル定数の設定、基本高水の決定について概説するものとする。

8.2.1 貯留関数法の基本

貯留関数法は、流出現象の非線形性を表現する方法として貯流量と流出量との間に関数関係（一価の貯留関数）を仮定し、貯留量を媒介変数として降雨量から流出量を求める手法である。具体的には、流域または河道の貯流量 S を流出量 Q の指数関数

$$S = KQ^p$$

と仮定しこれを運動方程式とする。現実には S 、 Q は遅滞時間を考慮した値 で S_ℓ 、 Q_ℓ 表される。

$$S_\ell = KQ_\ell^p$$

この式と以下の連続方程式

[流域]

$$\frac{1}{3.6} f r_{ave} A - Q_\ell = \frac{dS_\ell}{dt}$$

f : 流入係数

r_{ave} : 流域平均雨量

A : 流域面積

I_j : 流入量群

[河道]

$$\sum_{j=1}^n f_j I_j - Q_\ell = \frac{dS_\ell}{dt}$$

を連立して解くことで、降雨量を流出量に変換する。

実際の計算過程では、上記に加え有効雨量の考え方、すなわち流出係数 f が導入される。貯留関数法の提案者である木村は f_1 - R_{sa} 方式を提案しているが、この中で f は流域面積 A に掛かる係数であるとされ、降雨初期には $f=f_1$ （一次流出率）として $f_1 A$ の面積（流出域）のみで流出が発生し、累加雨量が R_{sa} を超えると $f=f_{sa}=1$ となって残りの $(1-f_1)A$ の面積（流出域）でも R_{sa} 以上の降雨によって流出が発生すると考えた。上記の流出域と浸透域からの流出量に基底流量 Q_b を加えたものを流域流出量としている。

$$Q = \frac{1}{3.6} f_1 A_1 q + \frac{1}{3.6} (1 - f_1) A_2 q_{sa} + Q_b$$

ここに、 q : 流出高、 f_1 : 一次流出率、 A_1 : 流域面積（流出域）、 A_2 : 流域面積（浸透域）、 q_{sa} : 飽和点以降の降雨による流出高、である。

貯留関数法を用いた流出解析の手順は概ね以下ようになる。

流域を分割し、流出システムを作成する。

既往洪水に対する再現計算を行い、河道定数 K 、 p 、 T_k 、有効降雨定数 f_{sc} 、 R_{sc} 、基底流量 Q_b を決める。

計画降雨を作成し、これをインプットする流出計算を行い、基本高水を作成する。

これらの詳細な手順については次項以降に示す。

8.2.2 流域分割と流出システムの作成

流域を適切な規模で分割し、河道による流出の遅れや低減効果を適切に表現する河道モデルと組み合わせて流出モデルを構築する。

[解説]

貯留関数法による流出計算では、流出システムを作成する必要となる。流出システムを作成する手順は以下のとおりである。

1) 流域分割

流域をいくつかの小流域に分割する。分割点としては、計画基準点、主要地点、洪水調節施設計画地点のほか、支川合流点、内水となる間接流域等、流量配分計画立案上必要となる地点が挙げられる。

小流域の大きさは、流出計算の際の時間刻みに影響するので、小さくしすぎないように注意する。

Check Point ~ 小流域の大きさと流出計算の時間刻みとの関係

貯留関数法では、分割後の小流域での洪水到達時間よりも流出計算の時間刻み（降雨の時間刻みとも言える）を小さくする必要がある。

2) 河道の分割

河道は、洪水ピークの低減及び流出の遅れを含む河道内貯留現象を評価する区間、および流出の遅れのみを評価する区間の2つに分けて扱う。

前者は、8.1 で述べたとおり貯留関数で表すのが一般的であるが、より高い精度が望まれる場合などは不定流計算とすることもできる。

3) 内水地区の配慮

築堤区間や盆地等では、洪水時における河道での水位上昇により自然流下が妨げられること、およびその対策として排水ポンプ等による強制排水が行われることがある。このような流域は間接流域と称し、流域システムでは流域面積を除外するとともに、適切な流出量を基本高水に加味することになる。

8.2.3 モデル定数の設定

流域定数、河道定数、一次流出率、飽和雨量は、基本的には実測洪水流量の検証計算により定めるものとするが、実測洪水に関する資料が十分でない場合には、以下に示す方法により定めてもよい。

[解説]

1) 流域定数

流域定数を求める代表的な方法としては、木村の総合貯留関数法、リザーブ定数を用いる方法、および等価粗度を用いる方法などがあるが、ここでは流域利用の変化による流出特性の変化を見込むことのできるリザーブ定数を用いる方法、および等価粗度を用いる方法について紹介する。

(1) リザーブ定数を用いる方法

$$K = 43.4CI^{-1/3}L^{1/3}$$

$$p = 1/3$$

C : 流域粗度

I : 流域勾配 (流域最遠点から流出計算地点の標高差を流路長Lで割ったもの)

L : 流路長 (流域最遠点から流出計算地点までの主流路の距離[km単位])

Cについては過去の研究により以下の値が示されている。

表 2.8.1 Cの値の標準値

| Izzard | | 木村 | |
|--------------|-------|-------------------|-------|
| 表面材料 | C | 対象流域 (地被状態) | C |
| 滑らかなアスファルト舗装 | 0.007 | 石神井川 (一戸建市街地) | 0.012 |
| コンクリート舗装 | 0.012 | 島松演習場茂漁川 (裸地) | 0.033 |
| 砂利・タール舗装 | 0.017 | 浜松演習場佐地川 (畑地) | 0.038 |
| 短く刈り込まれた芝生 | 0.046 | 然別演習場ベンケチン川 (灌木林) | 0.085 |
| 密生した牧草地 | 0.060 | 利根川上流部ダム流域 (山林) | 0.120 |

遅滞時間 T_l については、全国山地河川の資料を用いた木村の式により評価できる。

$$T_l = 0.047L - 0.56 \quad [L > 11.9km]$$

$$T_l = 0.0 \quad [L > 11.9km]$$

上式では中小河川を対象とした場合 $T_l=0.0$ となる場合もしばしば起こりうるが、解析上不都合なときは以下に示す *Kleitz-Seddon* 則から求めてもよい。

$$T_l = L/\omega$$

$$\omega = 5/3v$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

ω : 洪水伝播速度
 v : 平均流速
 n : 粗度係数
 R : 径深

(2)等価粗度を用いる方法

$$K = 7.35 \left(\frac{NL}{I^{1/2}} \right)^{0.6}$$

$$p = 0.6$$

N : 等価粗度係数

I : 流域勾配 (流域最遠点から流出計算地点の標高差を流路長 L で割ったもの)

L : 流路長 (流域最遠点から流出計算地点までの主流路の距離[km単位])

遅滞時間 T_l については(1)と同じ。

N については、基本的には次表の値を目安にするものとする。

表 2.8.2 N の値 (目安)

| 土地利用形態 | | 標準値 |
|-------------------|--------------------------------------|-------|
| 水面 | | 0.0 |
| 水田 | | 2.0 |
| 山林 | | 0.7 |
| 丘陵、放牧地、公園、ゴルフ場、畑地 | | 0.3 |
| 市街地 | | 0.03 |
| 市 | 1° 区画割道路整備ができるが緑地が相当残る。排水路整備済み | 0.1 |
| 街 | 2° 道路舗装がかなり進む。下水道整備不十分。 | 0.05 |
| 化 | 3° 舗装されるべき面積の 50%以上が舗装され、下水道整備も保母十分。 | 0.01 |
| 度 | 4° 舗装されるべき面積の舗装、下水道整備完了。 | 0.005 |

2) 河道定数

河道の貯留効果を表現する場合、河道の貯留関数法を用いる。河道の横断測量データがある場合、河道の貯流量は基本的には不等流計算により貯流量 S ($m^3 \cdot hr$) と流出量 Q (m^3/s) の関係を求め、両対数紙にプロットし、最小二乗法により貯留関数式 $S = KQ^p$ の定数 K 、 p を同定する。

河道での遅滞時間 T_l については、以下の経験式が提案されている。

$$T_l = 7.36 \times 10^{-4} LI^{-0.5}$$

L : 河道延長

I : 河道平均勾配

横断データがない場合には、次の式が提案されている（利根川の経験式）。

$$K' = 0.185LB^{0.4}(I^{-1})^{0.3}n^{0.6}$$

$$K = 1.67K'$$

$$p = 0.6$$

$$T_l = 0.0165LI^{-0.5}$$

L ：河道延長

I ：河道平均勾配

B ：川幅

n ：粗度係数

3) 一次流出率・飽和雨量

一般に、貯留関数法における有効降雨は、一次流出率 f_l と飽和雨量 R_{sa} を用いて表現される。基本高水算定に用いる有効降雨は、の検証値をもとに設定するのが基本であるが、定数同定のプロセスにおける初期値としては、表に示す値を目安として面積荷重平均により算定する手法がよく用いられている。

表 2.8.3 定数の目安

| 項目 | 自然流域 | 都市流域 |
|----------|---------|--------|
| f_l | 0.5 | |
| R_{sa} | 100(mm) | 50(mm) |

8.2.4 基本高水の決定

基本高水は、既往洪水及び計画対象施設の性質等を総合的に考慮して決定する。

[解説]

基本高水は、計画外力を雨量で定めた場合、計画降雨群による流出計算の結果をもとに定めることになるが、既往最大洪水の規模や河道改修の可能性、河道改修以外の洪水防御施設の調節効果や実現性等の計画対象施設の性質等を総合的に考慮し慎重に検討することが肝要である。

計画降雨をモデルハイトグラフとする場合

計画降雨をモデルハイトとする場合は、計算されたハイドログラフが基本高水となる。この場合、実績の降雨波形による流出計算結果を用いてピーク流量及び流出ボリューム等、計画値が過小になっていないか確認しておくことが必要である。

計画降雨を実績降雨の引伸ばしによる場合

計画降雨は降雨量、降雨量の時間分布及び地域分布の相関する3要素で表される。実績降雨の引き伸ばしにより計画降雨を求める手順では、確率のみを計画規模に設定することになるので、計算された流量ハイドログラフが異常になる可能性がある。これを防止するため、カバー率という概念が導入される。基本的には、異常出水の棄却を行ったうえで、カバー率は50%（中央値）以上を採用することが必要と考えられる。

計画降雨を用いて得られた基本高水のピーク流量については、既往最大洪水のピーク流量や既往最大降雨量、さらには可能最大降雨等を総合的に勘案して設定する必要がある。

計画降雨を実績引伸ばしにより設定した場合、基本高水決定にあたっては、前述のカバー率を目安にする他、モデルハイトグラフあるいは合理式により確認することも考えられる。いずれの方法で検討した場合でも、県内河川の比流量図（参考資料に掲載）により比較することが必要である。

| Check Point ~ 計算された基本高水の妥当性のチェック |
|----------------------------------|
|----------------------------------|

| |
|--|
| 流出計算により得られた基本高水が妥当であることをチェックするために、周辺河川を対象とした比流量図に当該データをプロットすることが必要である。 |
|--|

第9節 計画高水流量の決定

9.1 計画高水流量の検討手順

計画高水流量は、総合的な洪水防御計画を基本として、基本高水の流域、河道の分担計画を検討し、各施設の配分流量を合理的に設定するものとする。

[解説]

計画高水流量は、ダムや河道等洪水防御施設の計画諸元を設定する基本量であり、その決定にあたっては、流域住民を含む関係者に理解されるプロセスを経ることが重要である。

洪水防御方法の決定に際しては、総合的な洪水防御を念頭に流域での流出抑制の可能性について積極的に検討を行った上で、河道および貯留施設の設置について検討を行う。河道分担分については、基本的に周辺地域の社会的、経済的、技術的、自然的制約のもので、景観や生態系などといった河川環境を保全・復元するための河道断面を数種類設定するとともに、ダム等による洪水調節施設等の検討を行うなど、妥当と考えられる複数の案を提示し、学識経験者や住民の意見等を聴取しつつ客観的な判断に基づき決定することが必要である。

具体的には、次の手順により計画高水流量を設定する。

- 1) 流域流出抑制効果の検討（9.2 項に内容を詳述）
- 2) 現況流下能力の把握（第3章に内容を詳述）
- 3) 河道分担量の一次設定
- 4) 洪水防御方式案の設定（9.3 項に内容を詳述）
- 5) 洪水調節効果の検討（9.4 項に内容を詳述）
- 6) 洪水調節施設の規模と河道分担量との関係の把握
- 7) 事業費および維持管理費の算定
- 8) 総合評価
- 9) 計画高水流量の設定（9.5 項に内容を詳述）

洪水調節に関する計算により基準点における河道配分の目標流量に見合う洪水調節方式を定めることになるが、場合によっては計画した洪水調節施設では目標流量に見合った効果が期待できない場合や、河道拡幅等により保全すべき環境を損ねる場合には、河道配分流量の見直しを含めた洪水調節施設の見直しを行う。

なお、経済性の評価については、対象とする計画規模における費用最小の観点からの評価とするが、これには、事業費（用地・補償費等を含む）のみではなく、例えば、河道拡幅による河道内及び沿川環境への影響やダム建設等に伴う自然環境への影響といった間接的な影響を見込んだトータルコストとして検討することが望ましい。

9.2 流域流出抑制効果の検討

洪水施設計画に先んじて、流域からの流出を抑制する方策について可能な限り検討するものとする。

[解説]

流出抑制施設には、雨水を貯留する貯留型施設と雨水を土中に浸透させる浸透型施設がある。確実性から従来、貯留型施設が多く採用されている傾向があるが、流域の土壌条件によっては浸透型施設の効用も期待できる。浸透施設は、定量的な効果を評価しづらいものの、洪水時のみならず地下水及び河川水の還元等水循環に寄与する割合も大きいことから、貯留型施設と併用を図ることにより、冠水頻度の減少、排水時間の短縮等の効果が期待できる。

9.3 洪水防御方式案の設定

9.3.1 洪水防御方式の特徴

洪水防御方式は、各方式の水理的特徴、地形的、社会的、自然的、経済的条件等を総合的に判断し実現性の高いものを選択するものとする。

[解説]

河川の洪水氾濫による災害を防除する方法としては、河道改修や放水路等の設置による洪水疎通能力の拡大、ダムや遊水地（調節池）による洪水調節等がある。洪水防御方式の設定に際しては、各方式の水理的特徴、地形的、社会的、自然的、経済的条件等を総合的に判断し実現性の高いものを選択する必要がある。

なお、各洪水防御方式の一般的な特徴について以下に記す。

（１）河道

河道改修の基本は拡幅・掘削等による現河道の河道断面であるが、それ以外にも放水路、地下河川等種々の方法がある。河道改修方式は現河川がもつ治水機能を拡大していく方式であるから、洪水防御方式の中のもっとも基本といえる。

（２）ダム

洪水調節ダム方式は、山地部にダムを建設するものである。適地が限定される上に、事業の実施による水理的、環境的、社会的影響が大きいため、検討に当たっては河川及び流域の特質を検討し、他の洪水防御施設と十分な経済比較を実施してから採用する必要がある。

（３）遊水地

遊水地方式は、河川の中流部に遊水地を設置して下流部の洪水を低減させるとともに、上流部の流出量の増大による治水上の影響を吸収することができるので、上、中流部から改修を先行させたいときには有効な方法である。しかしながら、広大な土地を確保しなければならないので、地役権設定等の用地費が大きくなること、土地利用上適地は限定されることなどの問題がある。この問題をクリアするため、遊水地を公園など都市施設と兼用する方策がしばしば採られる。

9.3.2 河川の規模に配慮した総合的洪水防御計画立案の必要性

規模の小さな河川では、大川と比較して施設計画規模を上回る洪水が発生する頻度が高いことに留意した総合的な洪水防御計画を立案する必要がある。

[解説]

中小河川など規模の小さな河川では、大川と比較して施設計画規模を上回る洪水が発生する頻度が高い。この状況下でも洪水による被害の発生を極力小さくする方策として、以下の点に留意した総合的な洪水防御計画を立案する必要がある。

浸水実績や洪水に対する危険性、さらには流域の流出特性について情報開示を行い、関係自治体や流域住民との連携を図る。

適切な土地利用の誘導・規制により、山林等の保水機能の保全を図るとともに、計画を上回る洪水時における農耕地や未利用地の流域での貯留効果の保全を図る。

河道改修に際し、極力計画高水位を低く設置する（堤内地盤高程度）ことで、破堤被害の危険性を低下させる。

計画を上回る洪水時における氾濫水の制御を考慮して、河畔林および二線堤の保全を図る。また、橋梁等の横断工作物の設置や道路盛土当の実施に際しては、氾濫などの異常事態への配慮を要請する。

9.4 洪水調節効果の検討

計画高水流量の算定に用いる流出系統は、基本高水の検討に用いた流出系統に各洪水防御施設の効果を加える形で作成する。

[解説]

計画高水流量の算定に際しては、計画した洪水防御施設を含む形での流出系統を作成する必要がある。この流出系統は、基本高水の検討に用いた流出系統に各洪水防御施設の効果を加える形で作成するのが原則である。各洪水防御施設の効果については以下のように表現するものとするが、精度向上が期待できるならばその水理的特徴に応じて別の手法を用いることも可能である。

(1) ダムによる洪水調節

洪水調節用のダムを配置する場合、ダム計画で定められている洪水調節ルールをモデル上に反映する。ダムの調節ルールには一定量放流方式、一定率一定量放流方式、および自然調節方式などがある。前二者は流出系統で適量を減じることで表現できる。後者はポンドモデルあるいは貯水位～容量曲線および貯水位～法流量曲線を用いた擬似不等流計算モデルを組み合わせる必要がある。

(2) 遊水地および調節池による洪水調節

遊水地については、規模が大きい時には二次元氾濫計算を組み合わせる必要がある、規模が小さいときには調節地と同様に扱うことができる。

調節池については、流出計算モデルを用いる方法と、不等流計算あるいは不定流計算を用いる方法とがある。

前者は調節池の効果やその調節容量を概略的に求める際に用いられる。手法としてはダムの場合と同様である。

後者はポンドモデル、越流堤公式等を組み合わせる方法である。越流開始流量を規定する視点で越流堤の高さを固定し、幅を仮定して調節計算を行い、基準点における目標流量と調節流量とを比較し、幅を再設定するのが一般的な手順である。

(3) 放水路による洪水調節

放水路の場合は、その洪水調節効果の評価にハイドログラフを必要としないが、放水路の計画位置によっては合流時差によって放水量への配分流量そのものが下流基準点での効果量とならないこともある。そのような場合には流出系統の中に分派計算を加える必要がある。

(4) 流出抑制施設

流出抑制施設は、防災調節池、流域貯留施設等様々な施設から構成されるが、雨水を貯留する貯留型施設と、雨水の地中への浸透を促進させる浸透型施設に概略分類される。流出抑制施設の分類を以下に示す。



図 2.9.1 流出抑制施設の系統

流出抑制施設の効果については、大規模な防災調節池を除き、マクロな集合体として評価するものとする。具体的な方法は以下の通りである。

防災調節池（大）

集水面積が流域全体の 1 割を超えるような施設の場合は、個別に流域分割を行いダムの場合と同様に扱う。

防災調節池（小）および流域貯留施設

規模の小さい防災調節池および流域貯留施設については、流域分割の中で総合して効果を算定する。すなわち、各施設の集水面積、有効貯留量および河道の流下能力を考慮した計画放水量に基づき、各施設を合成した一つのモデル流域を作成し、その流出量に対して計画放流量を与えて洪水調節効果を算定する。なお、計画貯留量が有効貯留量を超えた場合には、その時点で調節効果はなくなり、流入 = 放流と想定することになる。

浸透施設

降雨量から浸透能に相当する部分だけ減じて得られた有効雨量を対象に流出計算を行うのが一般的である。

9.5 計画高水流量の検討

9.5.1 流量配分

設定した洪水防御施設ごとに、基準点の計画高水流量に基づき、河道計画上必要とする主要地点の計画流量配分を設定する。主要地点としては、支川合流点、洪水調節施設の計画地点等とし、河道計画区間の計画高水流量を明示する。

なお、洪水防御方式として流域貯留対策等、基本高水ピーク流量に比べ、施設の調節量が相対的に小さい場合、数字を丸めることが不適切な場合もあるので、個別に判断する必要がある。

表 2.9.1 計画流量の数字の丸め方（参考）

| 流量 (m ³ /s) | 最小単位 (m ³ /s) |
|------------------------|--------------------------|
| 100 未満 | 5 |
| 100 以上 ~ 500 未満 | 10 |
| 500 以上 ~ 1,000 未満 | 50 |
| 1,000 以上 | 100 |

9.5.2 同一水系内における計画の整合

1) 本支川計画の整合

支川の計画高水流量を設定する場合には、本川計画との整合を図る必要がある。

[解説]

支川の改修計画を策定しようとする場合、本川の計画高水流量が先に定められている場合が多いので、本川計画との整合について検討する必要がある。一般に本川と支川では、計画の対象とする降雨の時空間分布や流出計算手法が異なることも多いため、計画規模の整合のみをもって計画の整合性を評価することは難しいからである。また、本川流域に対し比較的規模の小さい支川では、降雨から流出までの時差が本川のそれとは極端に異なったり、流出量が小さいなどの理由により、支川流量が本川流量にほとんど影響を及ぼさないことも考えられる。

水系内の本川と支川の整合について検討する場合、次の2つの「整合」に留意する必要がある。

(1) 計画論としての整合

一般的に本川と支川では、背後地の重要度が異なる。特に大河川の下流部は人口、資産が集中し、築堤河川である場合が多いため、洪水被害のポテンシャルが上流部に比べて非常に大きなものとなる。したがって、河川の大きさ、背後地の重要度、河道形態、過去の災害の履歴等を考慮し、適切な治水安全度を設定しなければならない。また、河道は上下流、本支川において連続しているものであるから、超過洪水による被害が水系内で適当に分散し、過度に特定の地域に集中することのないよう配慮する必要がある。

(2) 物理現象（流出現象）としての整合

本川と支川の流出量としての整合を同じ流出計算モデル上で検討しようとした場合、自然現象であ

る降雨及び流出現象を物理現象として適切にモデル化する必要がある。このためには、本川と支川の降雨の時空間分布を定量的に評価して、適切に流出計算モデルに反映させる必要がある。

2) 本川計画上考慮すべき支川の規模

本川計画上考慮すべき支川の規模は、本川流域面積、流域の形態等によっても異なるが、50km²～100km²もしくは本川流域面積の5%程度以上を目安とする。

[解説]

比較的規模の大きい支川については、本川流出モデル作成時においてあらかじめ対象支川の流域分割を行い、支川で設定された流量が本川計画と整合が図られたものであるかを、本川流出モデル上で検討できるようにしておく必要がある。この「規模」の考え方については、本川流域面積、流域の形態等によっても異なるが、50km²～100km²もしくは本川流域面積の5%程度以上が目安となると考えられる。

小流域の支川については、本川基準点に寄与する流量が小さく、本支川でそれぞれ対象とする降雨が同時に生起する可能性が低いことから、本川計画と計画規模の整合を図った支川の治水安全度を設定し、当該支川にとって適切な流出解析手法を採用することにより、支川単独で計画を策定することができると考えられる。

なお、内水河川については、本川計画上はポンプ排水量を考慮して、比流量で一定量を付加して扱う方法が一般的であるが、対象とすべき降雨が異なることが想定されるため、内水河川計画においては、本川計画とは独立して高水計画を検討すれば良いと考えられる。

3) 流量計画上の整合について

雨量確率手法を用いて流量計画を検討する場合、本川と支川とでは計画降雨量、流出ピークに寄与する降雨継続時間等、降雨の時空間分布が異なるため、一般に本川と支川の整合を評価することは難しい。すなわち、水系基準地点における基本高水の各地点通過流量と各地点で単独に検討された高水流量との間については、本川、支川の降雨の時空間分布や流出特性が異なるため、直接比較しても見かけ上の整合を議論するにすぎないことが多い。

したがって、例え本川の計画規模よりも支川の計画規模が小さい場合でも、支川の計画高水流量が支川単独で計画されている場合は、本川計画との流量計画上の整合についてチェックしておく必要がある。

Check Point ~ 通過流量によるチェック

本川を対象とした流出計算結果において、支川基準点のピーク流量がその地点の計画高水流量を上回っているかを調べる。下回っている場合、支川の河道計画に基づく改修によって本川に想定外の大流量が流れる恐れがあるので、本川を対象とした流出計算において与えた支川ハイドログラフを（支川の計画高水流量 ÷ 本川対象流出計算における支川のピーク流量）倍に引き伸ばし、これを支川からの流入として本川対象の流出計算を行い、それでも本川に悪影響がなければよしとする。

Check Point ~ 対象降雨量によるチェック

支川の計画高水流量を決定した流出計算における対象降雨の引伸ばし率を用い、本川の計画高水流量を決定した流出計算における対象降雨の引伸ばしを行う。この結果、

引伸ばし後降雨量 > 対象降雨量の場合はOK

引伸ばし後降雨量 < 対象降雨量の場合は引伸ばし後降雨を用いて本川対象の流出計算を行う。このときの本川ピーク流量が本川計画高水流量を下回っていればOK、そうでなければ支川の計画高水流量の再検討を要する。

Check Point ~ 既往最大流量によるチェック

支川における既往最大洪水が発生したときの実績降雨を本川流域に適用して流出計算を行う。本川基準点における計算流量が本川の基本高水流量を上回る場合、支川流量は本川に悪影響を及ぼしていると考えられる必要がある。

9.5.3 支川流域内における計画の整合

中小河川計画内における計画高水流量配分は、本・支川、あるいは上・下流間で計画上のバランスを考慮して設定する。

[解説]

9.5.2 では、主として本川の計画高水流量が先に定められている場合における中小河川流域区間の改修計画に対する整合性のチェック方法について述べてきたが、中小河川流域区間内でも本・支川、あるいは上・下流間で計画の整合を取る必要がある。

なお、中小河川計画区間内における本・支川がそれぞれ合理式で検討されている場合、流域内での降雨が一樣という前提が自動的に入ることになるので、流域系統が正しく設定されていれば自動的に流量の整合性を満たすことになる。