

都市域の治水計画における降雨外力について

THE RAINFALL FOR THE FLOOD CONTROL PROJECT IN URBAN AREA

谷岡 康¹・福岡 捷二²

Yasushi TANIOKA and Shoji FUKUOKA

¹ 正会員 工博 パシフィックコンサルタンツ (株) 水工事業本部 河川部 (〒163-0730 新宿区西新宿 2-7-1)

² フェロー会員 Ph.D 工博 広島大学大学院教授 工学研究科社会環境システム専攻 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

In urban areas, since intense land use is remarkable and improvement of rivers and sewers and reinforcement of drainage capability are very difficult, storage facilities, which perform momentary storage of a flood, such as a regulation pond and a storage pipe, play an important role. The present projects for rivers and sewers are made based on each design scale and design hydrograph, and the present condition is that mutual adjustment and increase in efficiency are not attained. DAD analyses of time-spatial scales (approximately 10-180 minutes and up to about 100km²) for small rivers and sewer basins are performed. Moreover, the difference in the rainfall characteristics by the rain factors (typhoon and thunderstorm) is clarified, and the way that should be as external force of the project, which can reflect these characteristics, is arranged.

Key Words : flood control measures in urban area, integration of rivers and sewers, facilities for storage

1. 目的

都市域では流域の市街化により流出量が速く大きくなってきており、その洪水氾濫形態は、特に短時間の集中豪雨による中小河川の外水氾濫、下水道の内水氾濫が相俟って発生するいわゆる都市型水害が増大している。このため都市部の中小河川の改修、下水道排水施設の増強が喫緊の課題となっている。しかし都市域では土地の高度利用、地価の高騰が著しく、用地の取得が困難な状況となっていることから、河川、下水道の洪水の一時貯留を行う調節池や貯留管などの貯留施設が重要な役割を果たすことになる。これらの貯留施設は河川・下水道相互にその流出量、貯留量、ひいては全体としての治水効果に影響を与えるが、現在の中小河川、下水道の計画は、それぞれの計画規模、計画降雨に基づいてなされ、相互の整合・効率化・最適化が図られるまでに行っていないのが現状である。そこで本検討では都市中小河川、下水道の狭小流域スケールでの降雨の時空間特性を分析した上で、河川、下水道の連携のとれた合理的・効率的な治水計画を行うための検討対象降雨の設定方法の一試案を提示する。

2. 現在の計画方法の課題

現在の中小河川・下水道の治水計画・雨水排水計画は、一般に合理式に基づいて行われている。この合理式による治水計画においては、主に降雨外力、流出解析の点で以下が課題として挙げられる。

(1) 計画の降雨外力について

計画の対象としている降雨の確率規模は、一般に中小河川でおおよそ 1/30~1/50、下水道では 1/5~1/10 と異なっている。また貯留施設等の計画にあたっては、洪水調節の容量見積もりに降雨波形が必要となるが、合理式に基づく中央集中型降雨波形が用いられることが多い。しかし、降雨はそれぞれの洪水到達時間によって異なった波形となる。また台風、雷雨などの降雨要因による降雨波形や地域分布は、それぞれに特徴があるが、これらの実態を反映した波形ではない。貯留施設を含めた治水計画は、その貯留、洪水調節の、河川・下水道への相互の効果・影響を適切に評価することが重要であり、それぞれで異なる降雨波形、また実績ではない仮想の降雨の時空間分布を用いて計画をたてているところが課題である。

(2) 流出解析について

現在の中小河川・下水道の治水計画に合理式を適用する方法では、貯留施設を含む治水施設相互の流出量、貯留量の影響・効果を反映できない。また、流域面積 100～200 km² までの中小河川に、合理式の仮定である流域一律、到達時間内一定の降雨外力を適用することが、実態と乖離している。様々な時間分布、空間分布の降雨に対して、河川・下水道を一連とした、また貯留施設の効果を反映できる流出解析法が必要である。

3. 都市中小河川・下水道流域スケールの降雨特性

東京都神田川流域周辺の比較的密なテレメーター雨量観測所のデータをもとに、中小河川、下水道流域の時空間スケール (10 分～180 分程度、100km² 程度まで) の DAD 解析を行う。また降雨要因 (台風、雷雨) による降雨特性の差異を明らかにし、この特性を計画の対象降雨として反映する。

(1) 検討の対象

検討の対象流域は図 - 1 に示す東京都の代表的な中小河川である神田川 (流域面積 105 km²) とし、その流域内の支川、下水道幹線流域など、7～105 km² の 7 つの流域ケースを検討対象として設定した。(表 - 1)

対象とする降雨データは東京都の雨量記録より、昭和 54 年から平成 7 年までの 17 年間、91 降雨を対象とした雨量は図 - 1 に示す雨量計でおよそ 3km から 5km 間隔での 10 分雨量が得られている。対象降雨はその当日の天気図、気象概況から、“雷雨性”、“台風性その他”の降雨要因で分類した。

対象降雨のうち雷雨、台風による浸水被害実績のあった降雨につきその 60 分最大雨量分布と浸水被害の分布を整理し、その一例を図 - 2 に示す。雷雨性の集中豪雨では、降雨の地域的集中度が激しく、その集中域を中心に河川から離れた内水氾濫域が点在している。雷雨性の集中豪雨では、短時間の強い降雨が下水道の排水能力を超えて内水氾濫が起こり、その分、河川に大きな洪水が到達せずに河川では余裕があることになっている。

一方で台風性の降雨の場合には短時間の降雨強度は雷雨に比較して大きくないので、合理式により短時間の大きい降雨強度で設計された下水道では順調に排水がなされ、流量が河川に集中することで河川からの外水氾濫を起こすことになる。このことから、河川、下水道相互の流出、貯留状況、降雨要因による降雨波形や地域分布の違いを反映することとその対策が重要である。

(2) 観測所雨量の到達時間による関係¹⁾

図-3 に都内地上雨量観測所における実績降雨の、例えばここでは 30 分と 180 分最大雨量の関係を示す。ここで、30 分は流域 2 km² の下水道、180 分は 100km² 程度

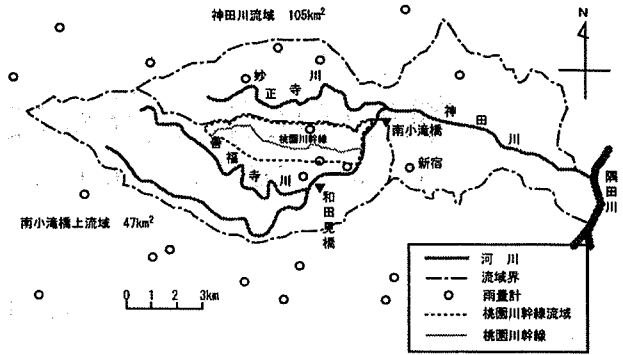


図 - 1 検討対象とした流域

表 - 1 検討対象とした流域の諸元

流域名称	流域面積 (km ²)	想定した到達時間(分)
神田川全流域	105	180
南小滝橋上流	47	120
和田見橋上流	30	100
妙正寺川	22	90
善福寺川	19	80
神田川善福寺川合流点上流	11	60
桃園川幹線	7	40

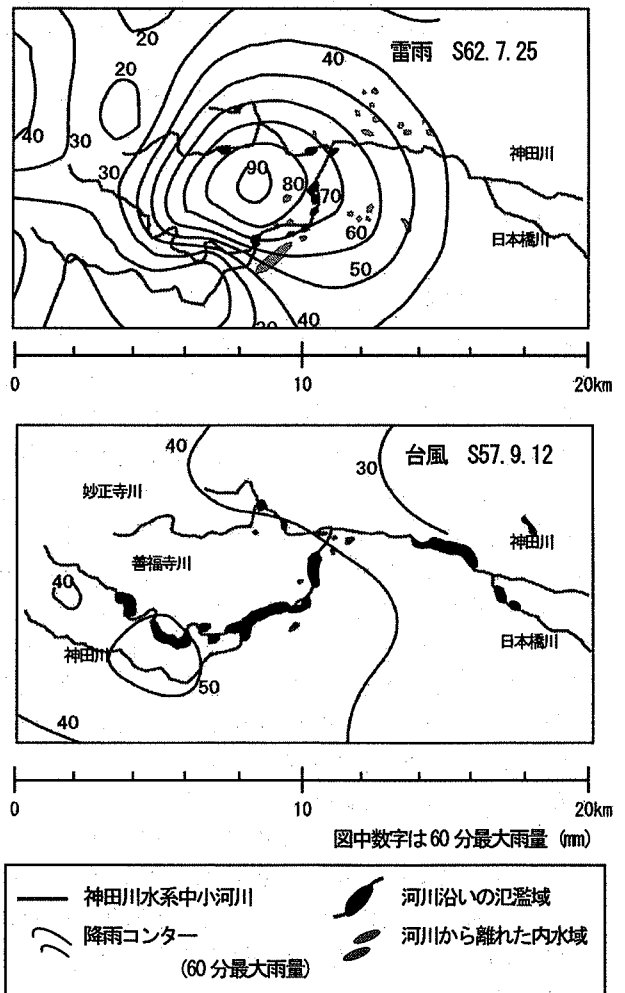


図 - 2 対象降雨の分布例

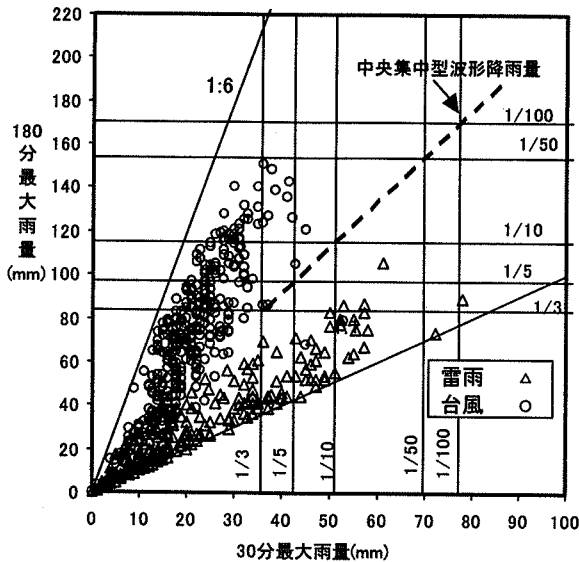


図 - 3 観測所の 30 分, 180 分最大雨量の関係

の中小河川でのおよその到達時間に相当する。これより雷雨と台風の降雨要因で降雨特性が明らかに異なることがわかる。これは、台風性の降雨では、中小河川の到達時間に対して大きく、雷雨性の集中豪雨では下水道の流達時間に対して大きい降雨波形となっており、この降雨要因による差異が図 - 2 で示した氾濫形態の差異に現れていることがわかる。また図 - 3 中に 30 分, 180 分の確率雨量を示し、同じ確率年の交差する点を重ねて点線で示す。この直線上がいわば到達時間毎の降雨量を合わせる中央集中型降雨波形の降雨量であり、このような降雨の発生は、極めて稀であることが解る。

(3) 到達時間と到達時間内降雨強度との関係

図 - 2 で示した雷雨, 台風について、到達時間内流域平均降雨強度と到達時間の関係を図 - 4 に示す。雷雨性豪雨では短い時間の雨量が大きく尖鋭であり、逆に台風性の降雨では大きい時間の降雨量が大きく、時間が大きくなることによる降雨強度の低減度合いは緩やかである。

(4) 流域面積と降雨強度の関係

図 - 5 に流域面積が広がることによる流域平均降雨強度が低減する傾向を示す。中小河川, 下水道の狭小時間スケールでは、特に雷雨性の短時間 (30 分) 降雨で、流域面積による降雨強度の低減の度合いは極めて大きいことがわかる。これに比べ台風性の降雨では、面積が広がってもそれほど流域平均の降雨強度は低減しないことがわかる。

(5) 実績降雨, 確率降雨の DAD 関係

図 - 6 に実績降雨での流域面積, 到達時間, 降雨強度の関係を示す。雷雨性降雨は短時間狭小域での降雨集中度が高く、時空間的に尖鋭な形となっている。先に示

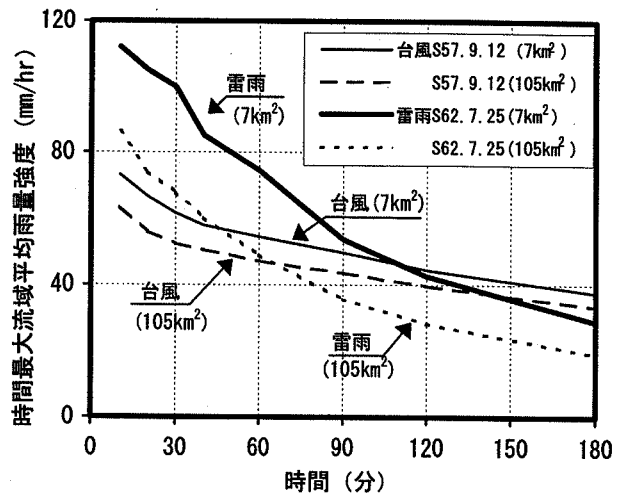


図 - 4 到達時間と到達時間内降雨強度との関係

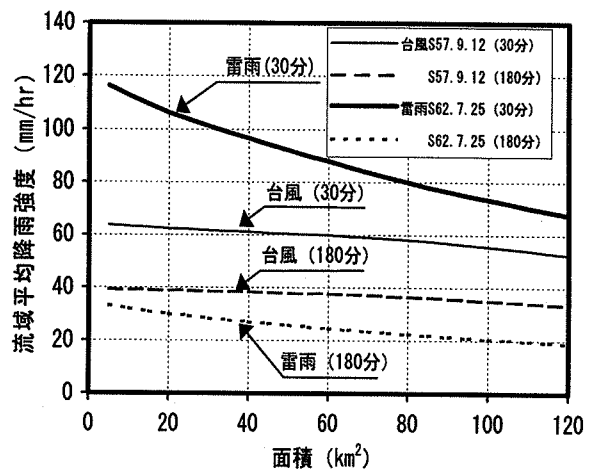
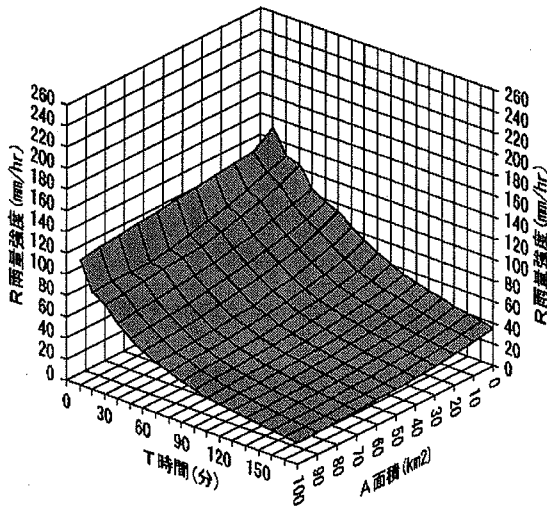
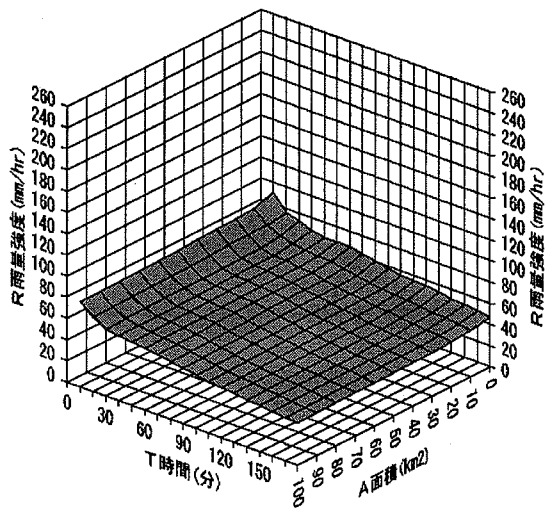


図 - 5 流域面積と降雨強度の関係

した実績降雨量データにつき、雷雨性の集中豪雨と、台風性降雨他に分類し、表 - 1 で示した流域のケース $7\text{km}^2 \sim 105\text{km}^2$ の 7 ケースで、10 分～180 分の間 8 ケースの到達時間内最大の流域平均雨量を算定し、それぞれの降雨要因で水文統計解析を行った。図 - 7 にその例として 1/30 の流域面積別、到達時間別の確率降雨強度の時空間分布を示した。図 - 7 に示す雷雨, 台風の確率雨量の DAD 関係は、図 - 6 に示した実績降雨の時空間分布の特性をよく表現できている。このことから雷雨性降雨と台風性降雨の時空間分布特性の違いは明らかである。表 - 1 でのおおよその到達時間と流域面積の関係を設定しあてはめた降雨強度曲線が図 - 8 である。およそ到達時間 60～100 分より短く、流域面積 $20 \sim 30\text{km}^2$ より小さい範囲では雷雨性の降雨強度が大きく、この到達時間、流域面積を超えると台風のほうが大きくなる。河川・下水道の流域面積、到達時間により、また降雨要因によって、確率降雨量が大きく異なるので、適切な降雨規模の評価と検討対象降雨の設定が重要である。

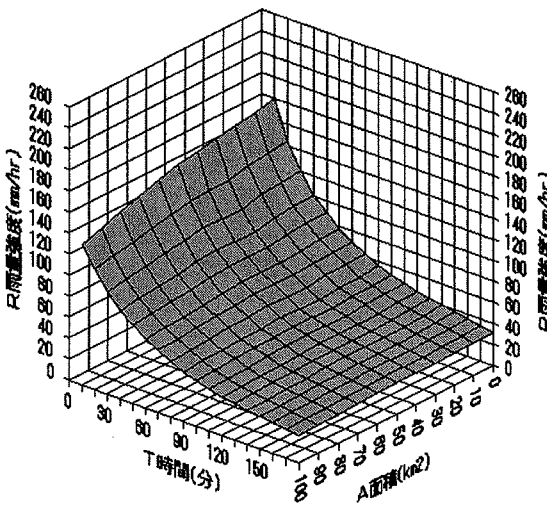


(6a) 雷雨性降雨 (S62.7.25)

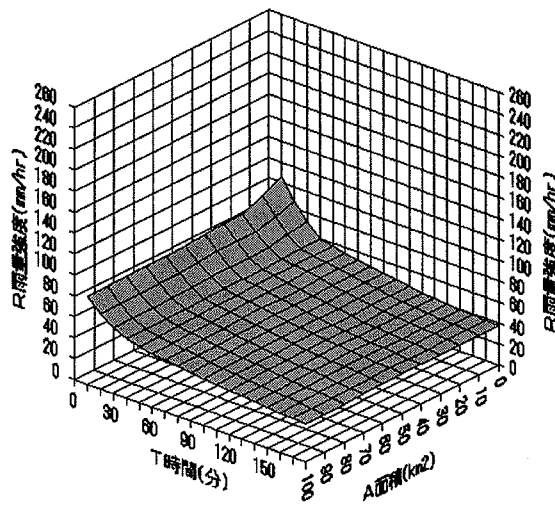


(6b) 台風性降雨 (S57.9.12)

図 - 6 実績降雨のDAD関係事例



(7a) 雷雨性降雨 (確率年1/30)



(7b) 台風性降雨ほか (確率年1/30)

図 - 7 確率降雨のDAD関係

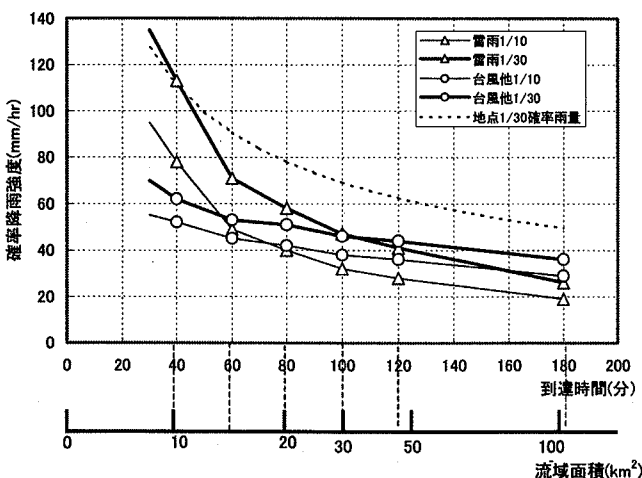


図 - 8 到達時間, 流域面積と確率降雨強度の関係

(比較として東京管区気象台・東京観測所の確率雨量強度²⁾を点線で付している.)

4. 都市域の治水計画での対象外力の設定方法について

前節までの、降雨外力の実態、時空間分布特性、河川、下水道の流出、氾濫の実態を踏まえ、双方で連携した治水計画における降雨外力の設定の方法について検討する。

図 - 9 に都市域の治水計画の流れの提案を示す。これまでの合理式に基づく降雨外力の設定、流出計算に代えて、降雨特性の分析として対象流域での降雨要因も考慮したDAD解析を行い、実績降雨を計画の検討対象降雨として設定することとし、また流出解析は河川・下水道を一体とした、貯留施設等の相互影響・効果を再現出来、さらに内水氾濫も考慮出来る流出・氾濫解析モデルを構築するものとしている。以下にその考え方を示す。

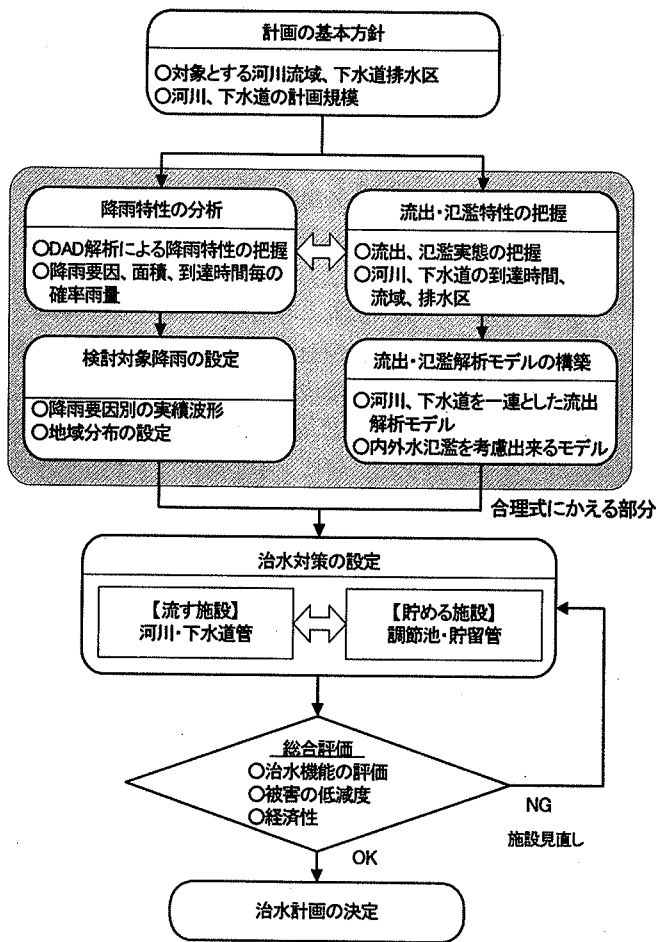


図 - 9 都市域の治水計画の流れ

(1) 降雨特性の分析

これまでの合理式による計画では、流域を代表する1地点の降雨強度曲線により、流域一律にその到達時間内降雨量が降るとした外力を用いている。実態は、特に雷雨性の集中豪雨では流域面積が広がるほど流域平均雨量強度の低減が大きく、また降雨要因によっても降雨の時空間特性が雷雨・台風で2極に分かれることが解り、これらを十分に計画外力に反映することが重要である。

(a) DAD解析による降雨特性の把握

短時間(5分、10分間隔)、狭小域(中小河川・下水道流域規模)の実績降雨につき、データを収集し、降雨要因による降雨量の時空間特性につき整理し、対象流域に起こる降雨の特性を把握、分析することが必要である。

(b) 降雨要因、面積、到達時間ごとの確率雨量

流域平均雨量について、その流域面積、到達時間で統計的に整理を行い、確率雨量を算出する。このとき、雷雨、台風などの降雨要因によっては、降雨の時間波形、地域分布特性が大きく異なるので、降雨要因ごとに確率降雨量を求めることが実態に合わせた計画をたてるためには重要である。

これらの、対象としている中小河川、下水道流域スケールで、どのような時空間分布の降雨が、どのような頻度で起きているかを把握する。

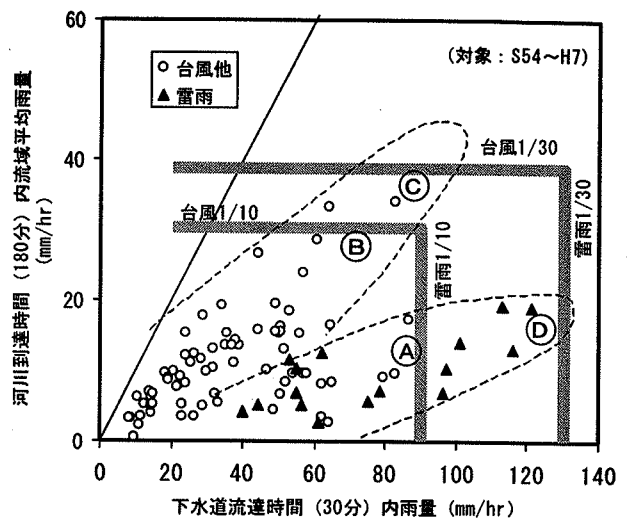


図 - 10 流域平均雨量の30分、180分最大雨量の関係

表 - 2 検討対象降雨の抽出と留意点

対象	雷雨性	台風性	摘要
下水道 (1/10計画)	Ⓐ:雷雨1/10 ・下水道流域に1/10の雷雨が集中した場合に貯留・排水出来るか	Ⓑ:台風1/10 ・河川の外水位に対し、下水道が貯留・排水出来るか	・下水道の内水氾濫が生じない様計画を行う
河川 (1/30計画)	Ⓓ:雷雨1/30 ・局地的に河川で氾濫することがないか ・下水道の内水氾濫で甚大な被害にならないか	Ⓒ:台風1/30 ・河川が貯留施設を含めて排水出来るか ・河川水位が高い場合に下水道の内水氾濫で甚大な被害にならないか	・河川の氾濫が生じない様計画を行う ・下水道の甚大な被害とならない様対策する。

(2) 検討対象降雨の設定

(a) 降雨要因別の実績降雨波形の抽出

検討対象降雨は、起こり得る降雨として要因別に実績降雨から抽出するものとする。図 - 10 にその抽出のイメージを示す。ここでまず下水道の流速時間(例として30分)内流域平均雨量と、河川の到達時間(例として180分)内流域平均雨量の関係をプロットし、雷雨、台風の範囲(図中点線)を把握する。この範囲内で、先的水文統計解析で得られた降雨要因別の河川、下水道の計画規模(例として河川1/30、下水道1/10)の確率雨量と重なる図中A~D周辺の実績降雨を検討対象降雨として抽出するものとする。表 - 2 にその検討対象降雨とそれぞれの留意点について示す。基本的には下水道の計画規模(1/10)以内の台風、雷雨については、下水道の内水氾濫は発生させない計画とする。一方で河川の計画規模(1/30)の降雨に対しては河川の外水氾濫は発生しない計画とし、この際下水道能力を超える降雨に対しては下水道の内水氾濫の状況を確認しておき、集中的なまたは甚大な被害とならないよう(例えば床下浸水で収まる程度まで等)対策を講じるなどの配慮が必要である。

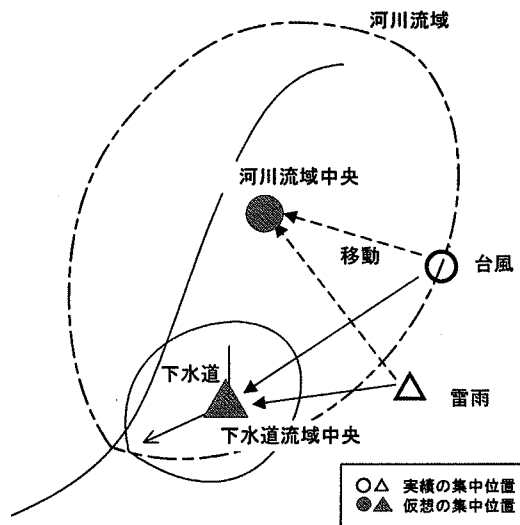


図 - 11 計画対象降雨の集中位置の設定イメージ

(b) 地域分布の設定

降雨の地域分布によっても大きく流出量が異なってくる³⁾。中小河川、下水道流域スケールでは、降雨の集中域がその流域のどの位置にくるかはわからない。図-11に検討対象とした降雨分布の与え方の一試案を示す。台風性の降雨で流域内の降雨量の偏差が殆どなく、流域一律として与えて良いと考えられるが、雷雨性の集中豪雨については、その集中位置により、下水道の内水氾濫、河川への流量の集中が変わってくる。このため、最も危険と考えられる位置（例えば流域中央や流域下流部や貯留施設上流域など）へ降雨の集中域を移動させるなどのケースで検討することが望ましいと考える。

(3) 流出・氾濫特性の把握、流出解析モデルの構築

河川・下水道の水位、流量の記録、内水、外水の氾濫実績に基づく、流出、氾濫現象の検証、原因究明と実態の把握が重要である。その上で、地域分布、時間分布をもつ降雨外力に対して合理式にかえて、河川、下水道の一体とした流出、氾濫解析モデルを構築する必要がある。ここでは、貯留施設の効果を適切に再現できることが重要であり、また内水氾濫が河川流量へ与える影響も大きい⁴⁾ので、どの程度内水氾濫が生じるのか、それが河川、下水道施設にどのような影響があるのかを解析できるモデルが必要である。また検討対象の降雨外力を実績降雨の時空間分布を対象と考えているので、それを反映できるモデルとすることが要件である。

5. 今後の課題

(1) 治水対策の設定方法について

河道、下水道管渠などのいわゆる“洪水を流す施設”と、調節池、貯留管などの“貯める施設”の組み合わせを適切に設定する必要がある。貯留施設の設定にあたっては、降雨要因により、例えば雷雨性の集中豪雨の場合は、下

水道からの内水氾濫を調節し、台風性の降雨の場合には河川からの外水氾濫の調節を図るなどの連携した施設も工夫することが重要と考える。またトンネル式の貯留施設や、地下河川、放水路などは流域を連絡することで、降雨の地域偏差を緩和し融通が出来る¹⁾のでこれも考慮する治水対策の設定方法の検討が必要である。

(2) 都市域の治水計画手法の体系化

本稿で提示した治水計画の方法も、様々な地域の河川、下水道の実態、降雨の状況などを網羅できるものとは思われない。今後都市域の現状施設の有効活用も含めたより合理的、適切な治水計画となるよう、その手法を体系化していく必要がある。特に、中小河川、下水道などの狭小域、短時間の降雨特性や内水氾濫などの実績データについては、これまでの蓄積があまりなく、その降雨特性、流出・氾濫特性の検討には困難な部分と考えられる。地域毎で、簡易的、一般的な計画指標（降雨のDAD解析等）が整理できれば、今後のより合理的（理にかなう）な計画検討も促進されることと考えられる。

(3) 観測とデータの蓄積、活用

中小河川、下水道の流域の時空間スケールでの降雨特性、流出・氾濫特性についてのデータは、現段階では殆ど蓄積がないことが多い。今後はこれらのデータを細かに、適切に、観測、蓄積していき、モニタリングしていくことが、より適切な計画を行うための重要な課題の一つである。

(4) 流域の雨水貯留浸透施設もあわせた治水計画

河川、下水道の貯留施設を含めた治水計画とともに、流域の雨水貯留浸透施設などの治水対策も、今後の都市水害対策には大きく影響してくる。このためこれらも含めた、総合的な都市域の治水計画についての計画手法の整理が必要であると考えられる。

謝辞：本検討では、東京都建設局河川部計画課に実績雨量データの提供を頂きました。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 谷岡康, 福岡捷二: 都市中小河川・下水道の連携した治水計画—台地部既成市街地を対象として—, 土木学会論文集, No.733/II-63, pp.21-35, 2003.5
- 2) 東京都建設局河川部計画課: '85 東京の中小河川, pp.22-24, 1985.
- 3) 谷岡康, 福岡捷二, 谷口将俊, 小山幸也: 都市中小河川の洪水流出特性, 土木学会論文集, No.586/II-42, pp.1-12, 1998.2
- 4) 福岡捷二, 谷岡康: 都市域の河川・下水道の連携した治水対策について, 河川技術論文集, 第7巻, pp.149-154, 2001.6

(2004.4.7受付)