

# 都市域の河川・下水道の連携した治水対策について

## ON THE FLOOD CONTROL MEASURES IN URBAN AREAS DUE TO INTEGRATION OF RIVERS AND SEWERS

福岡捷二<sup>1</sup>・谷岡康<sup>2</sup>

Shoji FUKUOKA and Yasushi TANIOKA

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>正会員 工博 パシフィックコンサルタンツ(株) 河川部 (〒163-0730 新宿区西新宿2-7-1)

The heavy rain, which largely occurred in Tokai area, attacked each and every river and sewer and caused great damage to the area. In order to minimize damage, it is necessary to previously take emergency management measures against excess flood. Especially, to establish coordination and connection among rivers and sewers is the most important subject in the flood damage mitigation plan and flood control measures. That should be done immediately. In this paper, after sorting out the subject and problem in the flood control measures, it is indicated how the coordination and connection of the present sewers and small rivers should be taken in the future; through concrete and practical study, the effect of the measures for minimizing damage in the catchment as a whole is specified in the event of actual rainfall, which has various scale and space-time distribution; and what the comprehensive flood control measures and coordination for those rivers and sewers should be in the future is discussed.

*Key Words : flood control measures in urban area, integration of rivers and sewers, torrential rainfalls*

### 1. 目的

東海豪雨では、極めて大きい規模の降雨が、大・中小河川・下水道全体を襲い、大きな被害をもたらした。これら都市化域の河川・下水道流出が相互に関連し合う治水システムでの被害を全体として最小限にするためには、超過洪水に対する危機管理施策を事前に講じておくことは無論として、各河川、下水道の整合のとれた治水計画、治水対策における連携が、目前の最重要課題であり、早急に進めなければならないと考える。

本論文は、現在の下水道と中小河川の各々の合理式に基づく治水計画で進められている治水対策において、今後これらの連携、連絡をどのように図るか、また、様々な規模、時空間分布をもつ実際の降雨に、流域全体として被害を最小限にとどめるための方策について、具体的・実証的なケーススタディを通して、その治水効果を明確に示し、河川と下水道の今後の総合的な治水対策・連携が今後どうあるべきかの方向性、対策を論ずる。

### 2. 検討課題

本報で取り扱うような中小河川、下水道施設での治水計画は一般に合理式を用いて行われてきた。一方で、近年流域の市街化が進み、流出の速く大きくなってきた中小河川・下水道では、局所的な集中豪雨により、いわゆる都市型洪水による被害が毎年のように発生しているのが現実である。この都市中小河川の流出形態は、小流域の短時間雨量に即応した直接的な流出<sup>1)</sup>であり、合理式の仮定<sup>6)</sup>である“流域最遠点からの到達時間内降雨強度が一定”というよりは、流域途中の各小流域からの尖鋭な流出とその重なり方が直接的に、ピーク流量やハイドログラフを規定する流出形態となってきた。また、豪雨の集中域では下水道で内水氾濫が生じている一方で中小河川ではその氾濫分余裕がある場合や、逆の場合が往々にしてみられる。この点でいまままで簡易で合理的で一般に用いられてきた合理式に不具合が生じている。またその意味で下水道・河川での治水対策における連携が、重要となってきたと考えられる。

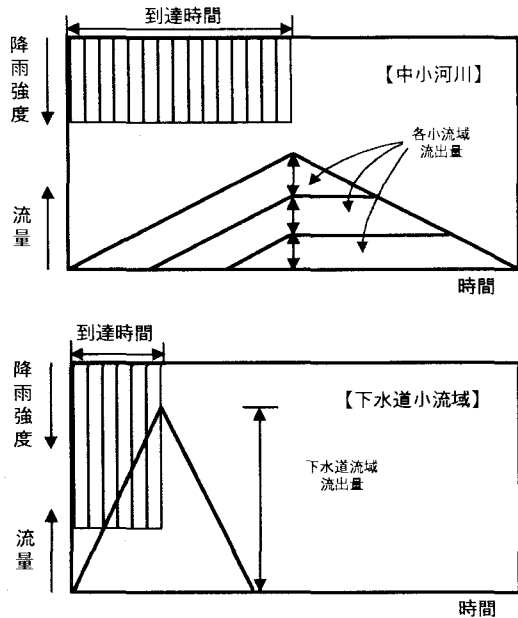


図-1 合理式の概念図

本検討は、都市化の進んだ既成市街地での中小河川・下水道を対象に、いままでの合理式で考えてきた計画流量と、下水道の小流域の速く先鋭な流出が重なりあう場合の流出量の違いを簡単なスタディにより示し、また集中豪雨など実績の降雨の時空間分布を与えた場合の検討結果を通して、今後の都市中小河川・下水道の治水対策における連携のあり方について、具体的に考察する。

### 3. 下水道流出の重なり方による河川流出量の差

#### (1) 合理式の考え方

図-1に合理式概念を示す。上段の図は中小河川の計画流量の考え方で、河川の基準点とする地点の流域最遠点からの到達時間による降雨強度を用いるものであり、ここでは基準点に対する上流域の降雨の一様性と到達時間内の降雨強度の一様性が前提となる。つまり下流河道の基準点では、継続時間の長く弱い降雨が各小流域に降った場合の合計を流出量としている。一方で、河川に流入する下水道の小流域では、図-1下段に示すように短く強い降雨による尖鋭な流出を対象に計画される。ここで、上・中流などの下水道小流域と河川流域では、考えている対象降雨が異なっていることになる。本検討では、設定した各小流域の流出量を河道の流下時間で重ね合わせる、いわゆる合成合理式<sup>7)</sup>を用いて、まず中央集中型降雨波形<sup>7)</sup>に対して河川の流出量がどの程度異なるかを試算する。

#### (2) 流域形状による流量の差異

合理式においては、流域最遠点からの到達時間（例えば90分）、流域面積（例えば50km<sup>2</sup>）、流出係数（f =

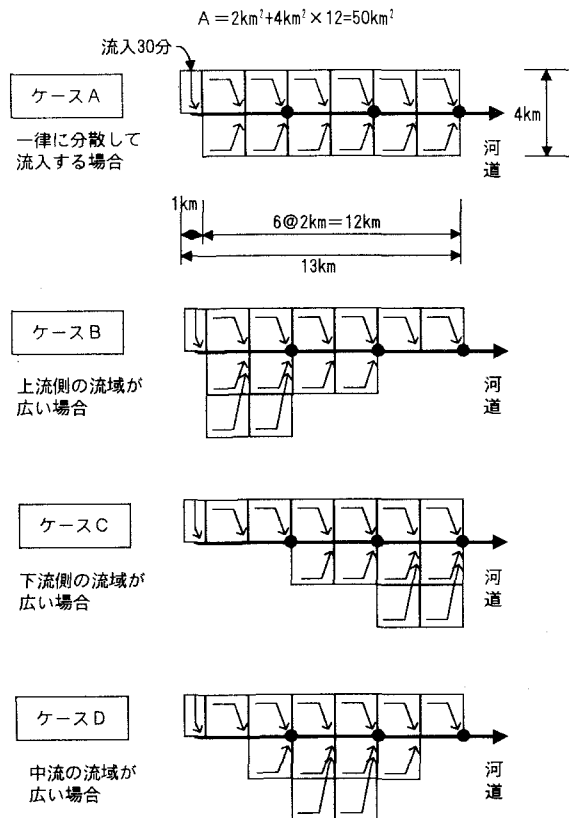
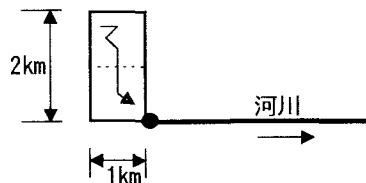


図-2 50km<sup>2</sup>の流域形状試算ケース

#### ①最上流 流入ブロック (2km<sup>2</sup> : 30分)



#### ②中流流入ブロック (4km<sup>2</sup> : 35分)

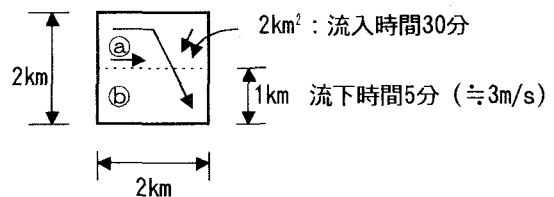


図-3 各小流域の流出条件の設定

0.8として)、及び計画の対象とする規模の降雨強度式が、定めれば、流量が、算定できる (460m<sup>3</sup>/s)。以上の条件下では、図-2に示すような流域の形状、例えば上流側が広い等の条件は、考慮されないし、最遠点でない途中流域の下水道小流域の流出の状況、重なり方は、全く考慮されない。そこで、図-2に示すケースAからDまでの流域形状によって、どの程度の流量が異なるか、各小流域の流量を合成合理式を与えた場合に、どの程度になるかを試算してみた。各小流域の流出計算条件は、図-3に示すように、①最上流の流入ブロック：2km<sup>2</sup>では、河川

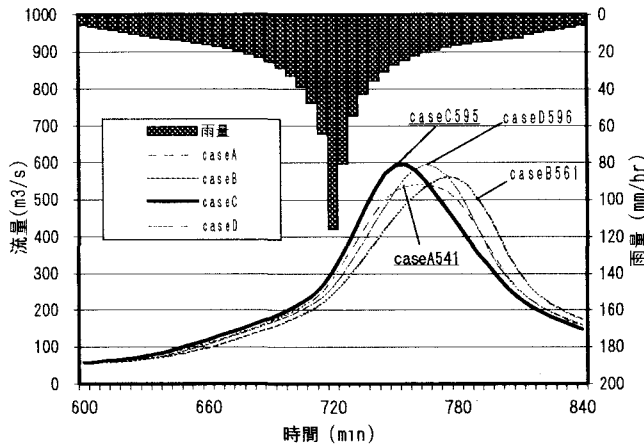


図-4 流域形状による流出流量の相違

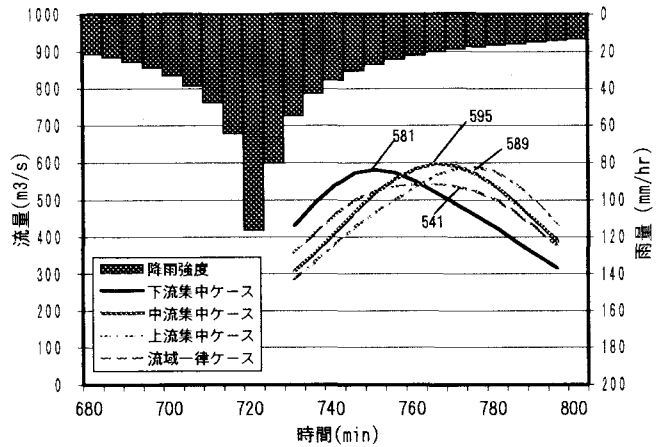


図-5 降雨集中域による流出流量の相違

表-1 50km<sup>2</sup>モデル流域の試算結果一覧表

流域形状	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	中小河川合理式流量 (460m <sup>3</sup> /s)に対する比
A. 均一流入	541 (m <sup>3</sup> /s) (561m <sup>3</sup> /s)	118% (119%)
B. 上流広い	561 (m <sup>3</sup> /s) (570m <sup>3</sup> /s)	122% (124%)
C. 下流広い	595 (m <sup>3</sup> /s) (614m <sup>3</sup> /s)	129% (133%)
D. 中流広い	596 (m <sup>3</sup> /s) (613m <sup>3</sup> /s)	129% (133%)

( )内は、2km<sup>2</sup>の流入時間を30分から20分へ短くなったと想定した場合

計画における基準で考えている、下水道整備区域の最上流域の流入時間30分<sup>3)</sup>を用いることとし、②最上流以外の、中流流入流域では、1ブロック:4km<sup>2</sup>を想定し、そのうちの2km<sup>2</sup>は、最上流流域と同様に流入時間30分として、河川に流下するまでの時間を5分(1kmの流下として約3m/sの流速)として、合計35分の到達時間を考えた。残りの残流域2km<sup>2</sup>については、これも同様に、30分の流入時間を考慮して、上流流量と合成した。

河道の流下時間についても、河道延長2kmに対して10分(流速約3m/s)を与えた。河道の流量は、この下水道ブロックの流量を、この河道の流下時間で移相させて重ね合わせることにした。図-4に流域形状によって、どの程度の流量が変わるかの結果を示す。この結果では、中流域、下流域に、流域が広い場合に最も大きい流出量を示す。これは、各小流域の尖鋭な流出と上流からの流量が、タイミングよく重なることにより大きな流量を示している。流出量は、表-1に示すように通常の合理式で与えられる計画流量に比べて、約2割から3割増と大きく違ってくるのがわかる。また表-1の括弧で示しているが、下水道の小流域2km<sup>2</sup>の流入時間が、通常の30分から20分と短かった場合には、さらに大きな流量となるのがわかる。

### (3) 降雨分布による流量の差異

降雨の空間的な偏差、流域に対する集中域が、流出量に与える影響を検討した。50km<sup>2</sup>の流域で、降雨が、上流あるいは、中流、下流に集中した場合を試算した。対象流域は、図-2に示すうちのケースAとして、降雨の分布を上・中・下流の3ブロックに分けて、集中域には、時間当たり75mmの降雨を与え、その隣のブロックには、50mm/hr、25mm/hrを与え、流域平均としては50mm/hrの雨量強度となるように、調整した。

図-5にその試算結果を示す。降雨の集中域によっては、その流出流量、流出形態は、様々となる。50km<sup>2</sup>程度の流域であれば、流域に、平均的に降雨がある場合に比べて、下流に降雨が集中することで、ピークが、約20分速く、1割程度大きいことになる。

### (4) 合理式との流量の差異

到達時間内の平均的な降雨強度を同じくしても、その時間内での降雨強度の時間波形を与える(中央集中型降雨波形)場合では、その個々の小流域の流量の重なり方、また、降雨の集中の仕方によってピーク流量が、2割から3割増加し、流出ハイドログラフ、ピークの生起時間も様々となるのがわかった。これは、現計画での治水施設は、流域平均的に規定の降雨規模でも、地域偏差があれば、また短時間での雨量強度変化・集中があればそれを超える流量となることを示している。

## 4. 下水道・河川の治水対策

下水道・河川の治水対策について検討するため、先述(図-2:ケースA)の50km<sup>2</sup>河川を4流域並べた4河川のモデル流域を考える。(図-7参照)

対象降雨は、中央集中型降雨を流域一律に降らせる場合、及び図-6に示す、東京都東部で発生した比較的規模の大きい実績の3降雨とした。実績降雨に関しては、およそ3~5km間隔で10分毎の地上雨量が得られており、

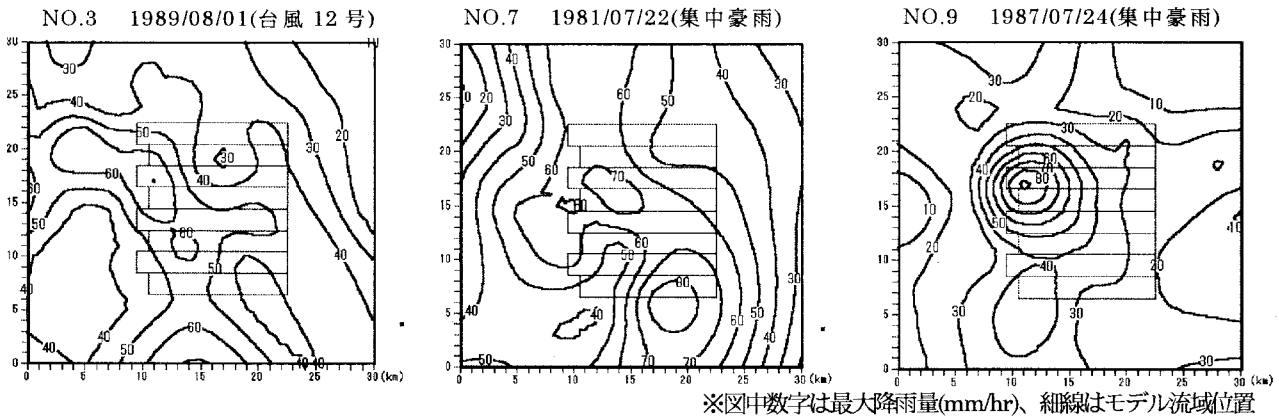


図-6 対象実績降雨分布 (60分最大雨量)

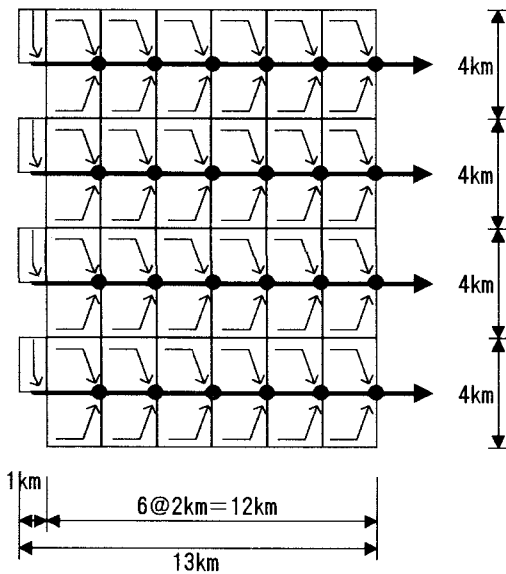


図-7 4流域モデル組合せ

これを 1km メッシュに内挿することで流域平均雨量を算定した。計算は、下水道・河道の全てのポイントにおけるハイドログラフを求め、図-8 に示す様に、設定した計画流量を超えるボリュームを氾濫流量とした。また、上流下水道、河川で氾濫した流量は、その下流へは流下しないと仮定した。

### (1) 現在用いられている計画方法による改修

現在用いられている合理式の計画論に基づき、河道・下水道が、改修された場合を想定して、中央集中型降雨、及び実績降雨による試算を行った。

中央集中型降雨(図-9a)においては、下水道、河道とも平均的に能力を上回り氾濫していることがわかる。実績降雨(図-10a)では、降雨の分布(図-6)と比べて解るようにその集中域で下水道が氾濫し、その下流側で河道が溢れる傾向にある。下水道の氾濫域近傍の河川では、河道は能力を余しており、その下流河道で溢水しており、そこでは下水道は氾濫を起こしていない。

### (2) 河道・下水道の改修

前節の検討から現在用いられている計画より、中央集中型降雨に対して小流域の重なり方を考慮した場合には、およそ 2 割の流量増となることから、通常の合理式での計画流量の 1.2 倍の流量で、河道、下水道を改修した場合について、同様な外力で検討を行った。

河道の下流端のみ、改修が出来ないとしてその能力は(1)で示した通常の合理式で計画される能力のままと考え、その氾濫量を算定した。中央集中型降雨では(図-9b)、下水道・河川の氾濫は殆どなくなるが、河川下流端で氾濫が大きくなる。全体の氾濫ボリュームは改修前 78 万  $m^3$  に比べて改修後は 63 万  $m^3$  と約 2 割程度小さくなるものの、この河道、下水道の改修は図-11 に示す様に下流河道の負担を増した結果となる。実績降雨(図-10b)でも同様で、NO.3 では流域内の氾濫がなくなり、下流への負担、氾濫が極めて大きくなる。NO.7, NO.9 では流域内の被害が若干低減されるものの下流端での負担増が極めて大きくなる。総氾濫量は、同様に若干の低減が見られる。この様に河道・下水道の改修は下流河道の能力との整合や調節池の設置などと合わせて考えていく必要がある。

### (3) 流域を連絡する調節池

河道に調節池を設置する場合には、図-9b で示す様に下流端での河道能力で計画規模の降雨に対して、この氾濫を防ぐとすれば各河川にその氾濫ボリューム分の調節池を設置することになる。実績降雨での氾濫量つまり必要な調節池容量は、降雨、河川毎に大きく異なり、1 洪水の中では、調節池を使わないで済む河川と(例えば NO.3 の A 川)、個別の調節池でも氾濫が生じる河川(NO.3 の C 川)とが混在することが分かる。各河川の流出量も図-12 に示す様に大きく異なっている。この点から、この河川毎に 4 箇所個別の調節池を設置するよりこれらを連絡する様な調節池とすることで、降雨、洪水の地域分布に柔軟に対処出来る効率的な調節池となることは想像に難くない<sup>8)</sup>。

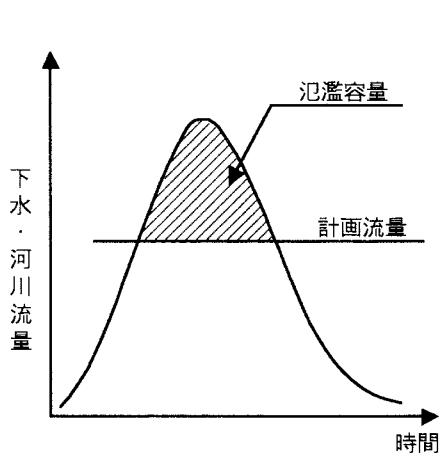


図-8 氾濫量の推定

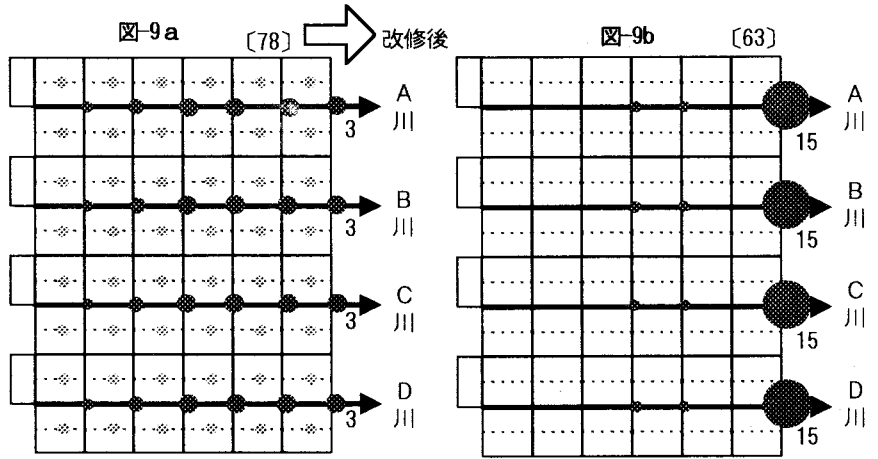
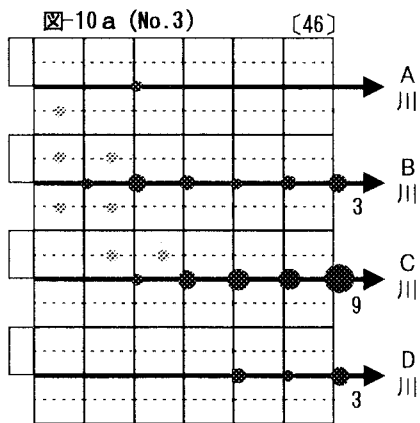
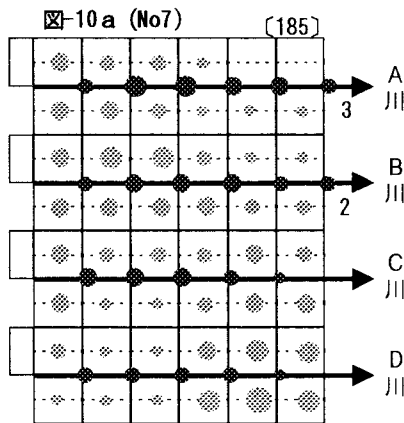
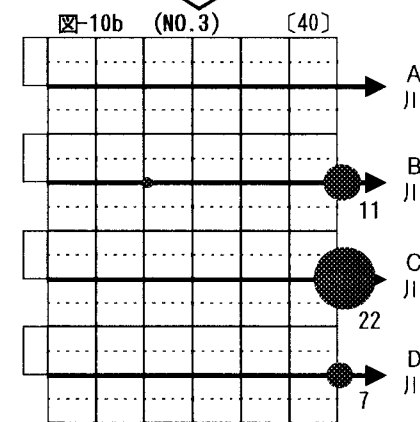


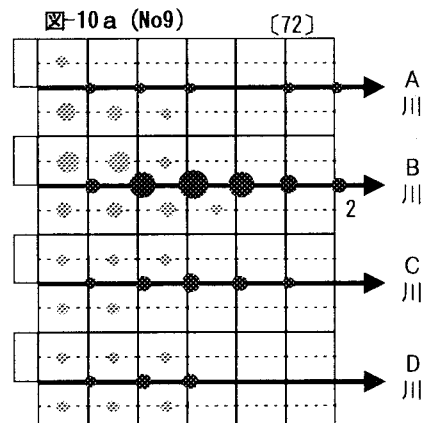
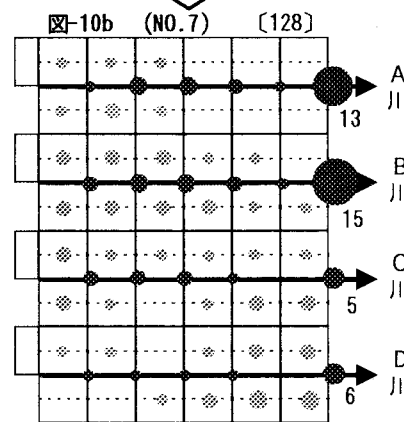
図-9 中央集中型降雨での計算結果



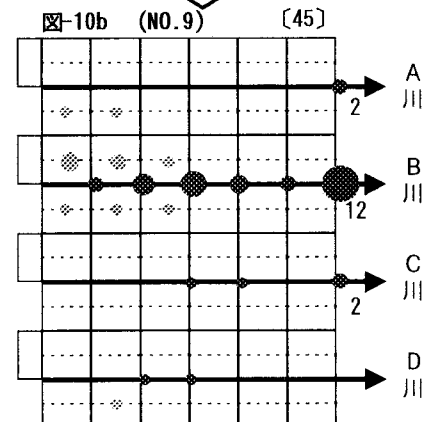
改修後



改修後



改修後



NO.3 1989/08/01 (台風12号)

NO.7 1981/07/22 (集中豪雨)

NO.9 1987/07/24 (集中豪雨)

※ ●河道氾濫量 ●下水道氾濫量 図中数字は氾濫容量(万m<sup>3</sup>) うち〔〕書は、総氾濫容量

図-10 治水対策の効果

#### (4) 下水道・河川の治水対策

上流の下水道、河道の面的な改修、及び下流端の連絡式の調節池等の治水対策は、工事的な制約条件の多い都市域では特に長い期間を要することとなる。下水道、河道の改修や調節池等の将来的な配置計画、整備計画を立案することも重要であるが、それまでに至る段階的な整備計画を下水道、河道の整合を十分に図りながら行っていくことが重要である。下水道での改修は、下流河道に

負担増となり、また下水道での調節池は局所的な対策としては効果が大きい河道への重なり方によっては、河道のピーク低減には効かないこともある。河道の調節池は完成したとしても上流河道、下水道の整備が計画規模まで達しないと洪水が河道調節池まで流れ来ず、その容量、機能を十分発揮出来ない場合も想定出来る。流域間、下水道・河道の連絡する調節池などを含めた将来計画の立案と、その範囲内での効果的、効率的な下水道・河川

中央集中型降雨の場合の河川下流端流量

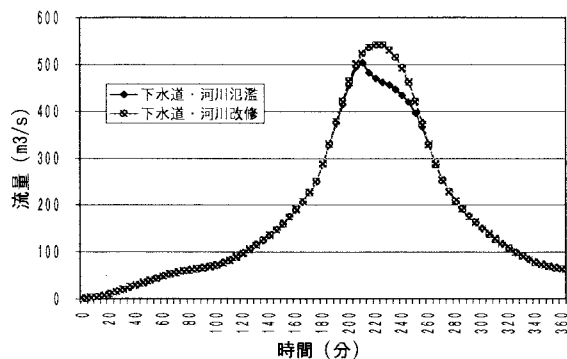


図-11 下水道の氾濫の有無による流出量の差

での整合の取れた、各段階での河道、下水道、調節池の能力をフルに活かしていけるよう段階的整備計画の立案が望まれる。

## 5. 検討結果のまとめ

### (1) 下水道の重なり方による流出

河道流量は、下水道、小流域の流出量の重なり方で、通常の合理式による流量に比べて2割程度増える可能性がある。また、下水道小流域の流入時間が、30分、20分の違いで、その重なり方と併せて、合理式計画流量に比べ3割程度の流量が、異なることもある。

### (2) 下水道・河川の治水対策

- ①通常の合理式では、想定された降雨規模に対しても、下水道・河川で氾濫する場合がある。
- ②下水道、上流河道の通常の計画流量の1.2倍の改修で、中央集中型降雨には、ほぼ対処出来るが、河道下流への負担は、極めて大きくなり、その対処と整合が必要となる。
- ③実績降雨分布に対する河道流量は、河川毎に偏差が大きく、流域を連絡して、降雨・洪水の地域分布に柔軟に対処する、連絡式調節池などが、効率的である。
- ④下水道・河川の改修や調節池の建設は、相互に氾濫被害を上流から下流へ移相させたり、河道、調節池に余分な余裕を生む場合があるなど、互いに影響し合うので、段階的・将来的にも整合のとれた治水対策、計画を相互に調整、連携して行うことが肝要である。

## 6. 今後の課題

河川の計画を行う場合、下水道の整備状況、流出の仕方の実態特性を十分に把握し、その重なり方に対応する計画・対策及び段階的な整備計画の立案が必要であり、

NO. 9 1997年7月24日

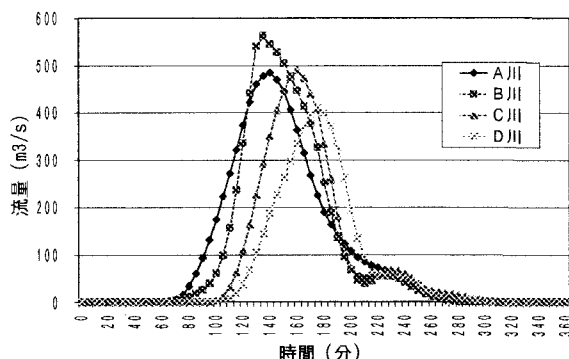


図-12 各河川の流出量の差

下水道の計画では、河川的能力、計画を十分に把握し、それに対応する適切な治水対策を行う必要がある。このように下水道と河川は、連続した一体の都市排水システムとして、将来計画のみならず、段階的な整備計画においても、効率的な整合のとれた、治水施設整備を図っていく必要がある。一方で中小河川・下水道では、今までに細かな流出実態や、降雨の時空間的に密な分布などの観測が困難であったが、今後は、レーダ雨量計や最新の観測技術を駆使して、流出特性やその実態のデータの蓄積、解析していくことが必要である。

**謝辞** 本検討のモデル流域に対してのケーススタディを行うに当たり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, 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
- 2) 谷岡康, 福岡捷二, 伊藤繁之, 小山幸也, 傅雲飛: 都市中小河川流域規模を対象とした短時間雨量の特性, 土木学会論文集第579号/II-41, pp.29-45, 1997.11
- 3) 建設省河川局監修, 社団法人日本河川協会編: 改訂建設省砂防技術基準(案)計画編, pp.19-20, 同調査編, pp.149-150, 山海堂, 1985.
- 4) 建設省都市局下水道部監修, 社団法人日本下水道協会: 下水道施設計画・設計指針と解説-1994年度版-前編, pp.59-67, 1994.
- 5) 東京都建設局河川部計画課: '85東京の中小河川, pp.22-24, 1985.
- 6) 例えば吉野文雄: 合理式による洪水流量の算定についての提案, 第27回建設省技術研究会報告, pp.581-586, 1975.
- 7) 中小河川計画検討会編集: 中小河川計画の手引き(案), (財)国土開発技術研究センター発行, p.3-11, p.3-16, 1999.
- 8) 谷岡康, 福岡捷二, 高橋康夫: 都市中小河川における連絡式調節池の効果, 土木学会水工学論文集第43巻, pp.163-168, 1999. (2001.4.16受付)