

都市中小河川の洪水流出実態

A Study of Characteristics of Flood in Urban Small River

谷岡 康*¹・福岡捷二*²・川重光正*³・谷口将俊*⁴

By Yasushi TANIOKA, Shoji FUKUOKA, Mitumasa KAWASHIGE and Masatoshi TANIGUCHI

In this paper, the time-space characteristics of the runoff system in small urban river basins is made clear, using well-observed rainfall and water level data. In urbanized area where sewer system are complete equipped, rainfall-runoff relation is extremely direct. In other words, the rainfall is collected into the rivers so efficiently that the flood in the downstream would rise rapidly. Future application, of the gained knowledge, in urban rainfall drainage management is also examined in this study.

Keywords: Urbanized Small river, runoff characteristics, response in precipitation to runoff.

1. はじめに

都市中小河川では、流域の市街化により、その洪水流出量は、速く大きくなってきており、毎年のように浸水被害を被っている。このような都市域の河川において、治水施設の管理、洪水調節施設や排水施設の制御あるいは迅速・適切な水防活動を行うに当たっては、まずその都市中小河川における洪水流出特性を明らかにする必要がある。都市中小河川の流出に関する研究は、古くからなされている。水越ら¹⁾や木下ら²⁾は、1時間毎の雨量、水位を基に市街化の流出へ及ぼす影響を検討している。また山口ら³⁾や和泉ら⁴⁾は、都市中小河川流域について、修正RRL法を用いて下水道整備が流出に及ぼす影響を検討している。これらの研究により、流域の市街化による洪水流出に与える影響等は明らかにされたものの、水文データが時空的に密に得られなかったこともあり、降雨の地域分布による流出形態の差や流出波形の形成過程まで細かに調べている研究は少ない。吉野ら⁵⁾は、中小河川の計画に合理式を用いる際の到達時間や流出係数の設定方法を提案しており、角屋ら⁶⁾は、中小河川の洪水到達時間について検討し、その実用推定式を提案している。しかし、流出計算における到達時間や流出係数の実績に基づく検証値は、洪水毎のパラツキが大きく、中小河川の治水計画上では、安全側を見込んだパラメータの設定方法が提案されているところにとどまっている。最近では都市中小河川の洪水管理を行う上で、降雨と流出の応答時間や、洪水流出の立ち上がり速さ等を明らかにすることが重要となってきた。本研究では、近年得られた密な雨量や水位のデータから、都市中小河川の洪水流出特性のうち、特に降雨と水位の応答、洪水位の立ち上がり速さ、降雨の地域分布等が流出波形に与える影響に着目し、検討を行った。

*1 正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 水工部 (〒163-07 東京都新宿区西新宿2-7-1)

*2 正会員 工博, Ph. D. 広島大学教授 工学部 第4類 (〒724 広島県 東広島市 鏡山 1-4-4)

*3 広島大学工学部 第4類 卒業 (1995年3月)

*4 正会員 京都府 宇治土木事務所

2. 雨量と水位の応答

2.1 対象河川, 流域

図-1に示す東京都の中心である区部山の手流域の代表的な中小河川である神田川を対象とし、その中流南小滝橋上流の約50km²の流域について検討した。当該区間の河道は下流側でおおよそ水深5m、河幅20m程度のコンクリート水路である。河床勾配は、ほぼ1/500程度と急で河口である隅田川の背水の影響はない。流域の約9割が市街地となっている。また、下水道は、流域の殆どで整備が済んでいる。対象区間には、図-1の▼で示す南小滝橋、左支川善福寺川合流直後に位置する和田見橋、神田川上流部の佃橋の水位記録が得られている。また、和田見橋から南小滝橋の間に桃園川、十二社幹線という大規模な下水道幹線を合流している。

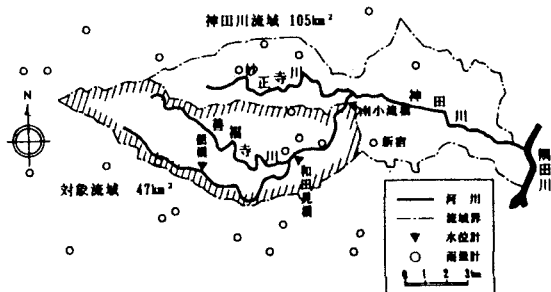


図-1 対象流域図

2.2 面積雨量の算定方法

当該流域には図-1に示す雨量観測所が配置されている。本研究では、対象流域に500m間隔の格子を設定し、ランダムに配置する雨量計の観測値を500m間隔の格子点に内挿し、雨量の空間分布形を与えた上で各小流域の流域平均雨量を算定した。この方法により、現在の雨量観測所配置でもほぼ精度良く計算出来ると考えられる⁷⁾。また、この流域平均雨量と河川水位の関係が極めて直接的であり、河川水位の実績波形と良く一致する⁹⁾ことから、現在の雨量観測所密度でもほぼ良好な面積雨量精度が得られていると考えられる。

2.3 対象洪水

東京都のテレメータによる10分間隔の雨量・水位記録が得られた昭和54年(1979年)から平成6年(1994年)までの44洪水を対象としている。平均的に、各年の上位の2~3洪水であり、台風、雷雨、その他の様々な降雨要因を含んでいる。

2.4 降雨と水位のおくれ時間の検討

流域の洪水到達時間を求める方法には様々あるが、ここではまず、木下⁸⁾も検討している降雨のピーク時間と流出のピーク時間の差を降雨と水位のおくれ時間として降雨と水位の応答について検討を行った。

(a) 検討方法

対象とした河川水位は、図-2に示すように10分雨量の変動に鋭敏に反応しており、雷雨の様な短時間に集中する1山の洪水以外は、降雨や水位波形の山は一般に1洪水の中に複数存在する。本検討では、個々の洪水の雨量と水位の変動に着目し、その両波形を見比べ、その対応が明確なものについてデータを抽出し、おくれ時間を求めるものとした。これは、1洪水中の降雨や水位の数値的な最大のみを抽出した場合に、雨と水位が全く対応しない場合が多くみられるためである。

降雨波形は、対象とする水位観測所より上流の流域について、先に示した方法で10分毎の流域平均雨量を求めそのピークの生起時刻を調べている。

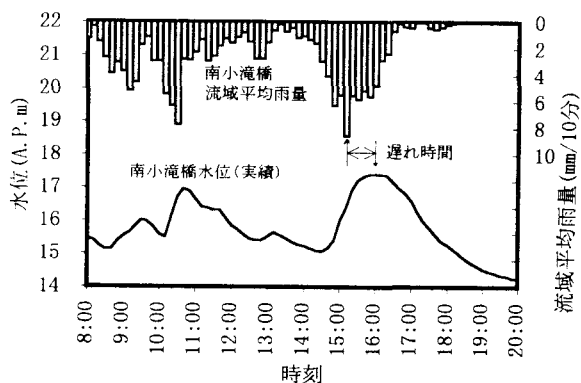


図-2 降雨と水位の対応

(b) 地点毎の比較

図-3に降雨と水位のおくれ時間の頻度分布を示す。最上流の佃橋でのおくれ時間は、10~20分程度に集中しており、バラツキは小さい。これは、流域が小さい(5km²程度)ために降雨の時空間的な一様性が保たれているためと考えられる。これに比べ和田見橋では、20~70分の間ではほぼ同じ頻度を示しており、バラツキが大きい。これは、支川善福寺川が合流している影響と考えられ、合流後の水位は、到達時間の違う本川と支川の各々に影響されているためと考えられる。南小滝橋では、30分のおくれ時間の頻度が最も多く、流域面積が大きいことや流路延長も長いことからすれば極めて速い応答を示している。これは、和田見橋から南小滝橋間に流入している下水道幹線の流出がピーク水位に対して支配的となっているためと考えられる。

(c) 流出規模、降雨要因による比較

図-4に流出規模(ピーク流量)、降雨要因によるおくれ時間の比較を示す。一般には、流出規模が大きい程洪水の下流への伝播時間も速くなり、到達時間、おくれ時間も短いと考えられるが、本検討では、その顕著な傾向が見られない。降雨要因毎には、佃橋では雷雨により大きい流出量を示す場合が多いが、南小滝橋では、台風による流出量が多い傾向にある。これは、流域が小さい場合には局地的な集中豪雨に大きく影響されるが、流域が大きくなると流域全体として平均的な規模の大きい降雨により大きい流出が発生する傾向を示しているものと考えられる。

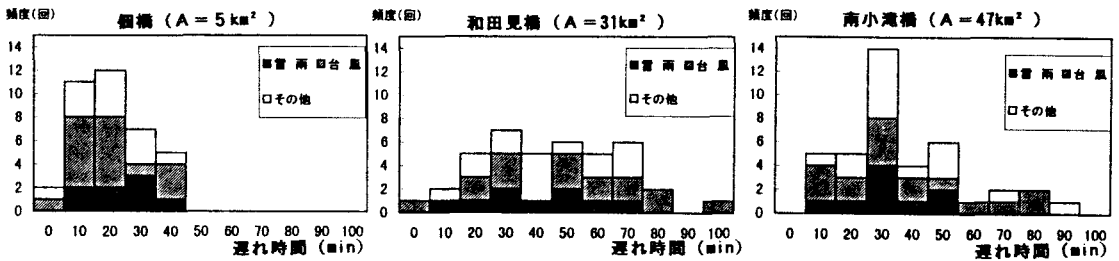


図-3 応答時間の頻度分布

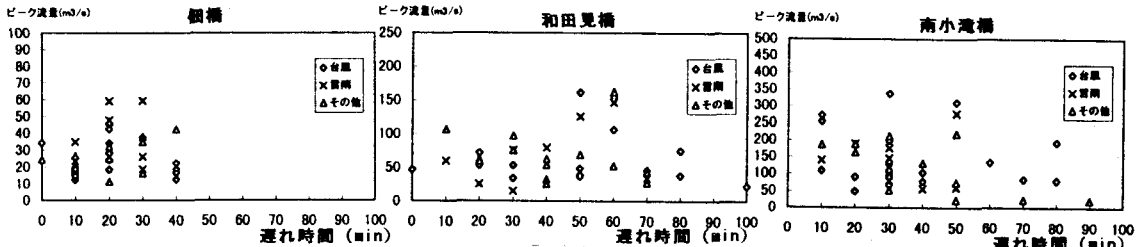


図-4 流出規模による比較

(d) 降雨の集中域による比較

図-5に降雨の集中域による、降雨-水位の応答時間の比較を示す。対象流域を上・下流に分割し、各々の流域平均雨量を算定し、上流雨量と下流雨量の比を求め、それとおくれ時間との比較を行った。図に示した南小滝橋のみでなく、他2観測所でも、下流へ降雨が集中した場合に速い流出を示す傾向にある。これは、下流にいく程にその河川近傍の下水道流域の速い流出が洪水のピークを支配してくるためと考えられる。降雨要因では、雷雨による場合が地域偏差が大きく、おくれ時間により強く影響している様である。

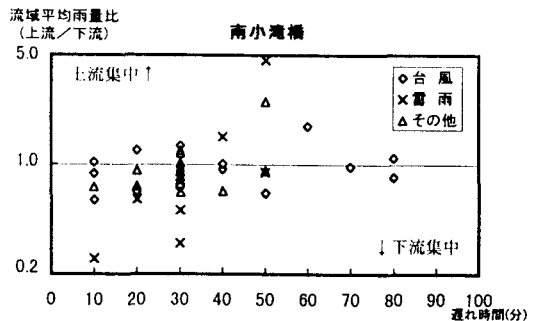


図-5 降雨の集中域による比較

3. 洪水の立ち上がり速さ

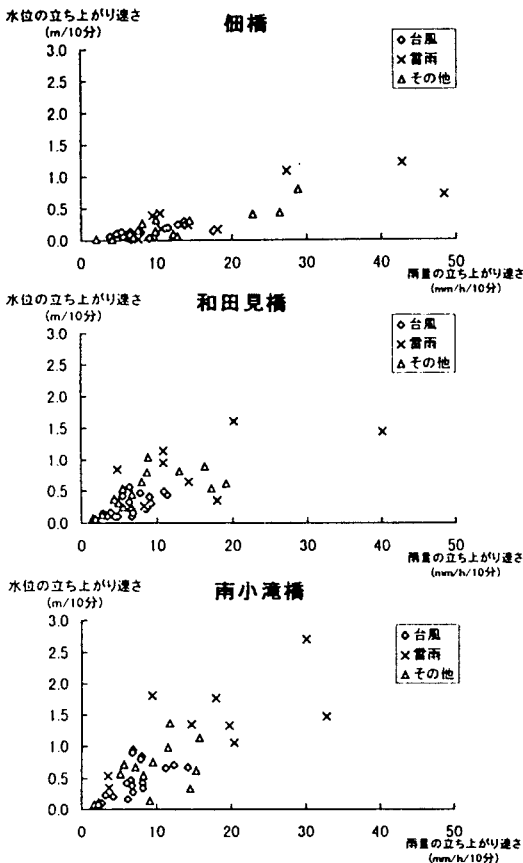
河川水位の上昇速度は、その河川の洪水予警報発令や、水防体制に入るタイミング、洪水調節施設の制御を行う等に当たり、極めて重要な要素となる。ここでは、この洪水の立ち上がり速さを降雨要因との関係や、降雨の集中位置による差異等につき検討する。

3.1 検討方法

洪水水位の立ち上がり速さは、10分単位で水位データが得られているために10分当たりの水位上昇量を対象とした。また流量の立ち上がり速さは、各水位差に対応する河道断面のH-Q式をもとにして、10分当たりの流量上昇量を求め、流域規模による差を除くために流域面積で除した値とした。雨量の立ち上がり速さは、10分当たりの30分平均雨量の上昇量を対象に計算した。これは、都市中小河川の小流域の洪水水位が30分平均雨量と極めて直接的関係にあった⁹⁾ことによる。

3.2 洪水の立ち上がり速さ

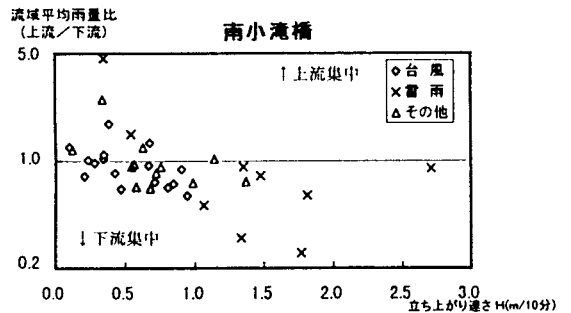
図一六に各水位観測所の洪水水位の立ち上がり速さを示す。横軸は、降雨自体の立ち上がり速さを示すが、明らかに雷雨性降雨において雨量と洪水水位の立ち上がりが速いことが分かる。各地点は、河道水深4~6mであり、そのうちの40~50%程度の水深が10分間で上昇してしまうことを示している。水位の立ち上がり速さは、その断面形状によるが、下流域大きな立ち上がりが見られた。特に南小滝橋では、雷雨性降雨により10分間で2~3mもの立ち上がりを示す洪水がある。これは、直上流に合流する下水道幹線の速い尖鋭な流出の影響によるものと考えられる。



図一六 洪水水位の立ち上がり速さ

3.3 降雨の集中域と立ち上がり速さ

南小橋の上流域(47km²)を大きく上・下流の2つに分割し各々の流域平均雨量を算定し、その雨量比を用いて上・下流の地域的な集中度を評価した。図一七にその集中域と洪水水位の立ち上がり速さの関係を示す。バラツキは大きいものの、下流域に集中する程に立ち上がり速さは、速くなる傾向にある。これは、水位観測地点近傍の到達時間の速い尖鋭な流出量が、上流からの流量に付加されることに起因すると考えられる。



図一七 降雨の集中域と洪水水位の立ち上がり速さ

4. 降雨特性と洪水流出

4.1 洪水解析モデル

一般に合理式は、到達時間による確率降雨強度を与え、そのピーク流量を算定するものである。木下ら⁸⁾はこの合理式に到達時間流出率という概念を導入し、到達時間による移動平均雨量強度を用いて、ハイドログラフを表現する方法を提案している。また、著者ら^{9)~11)}は、都市中小河川では、降雨と流出の関係が、極めて直接的であることを調べている。本研究では、降雨の地域分布を細かに反映するために流域を下水道の排水流域を参照し、およそ2~3km²程度毎に分割し(図-8)、小流域毎での10分毎の移動平均降雨を用いた合理式による流出量を、河道流下時間によって合成を行う流出解析モデルを構築した(図-9)。河道流下時間は、各河道の等流流速による流下時間を初期値とし、水位計のある3地点の水位波形を各々再現する様に調整した。

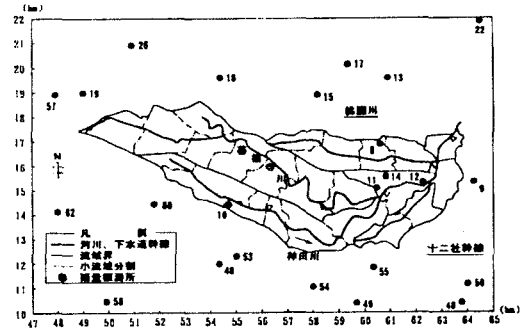


図-8 洪水解析モデル流域分割図

4.2 実績洪水の再現と洪水波形の形成過程

図-10に水位の実測値から求まる流量と解析モデルによる計算結果を示す。水位計のある各々の地点で洪水波形を良く再現しており、解析モデルは当該河川の流出システムを十分反映出来ているものと考えられる。図-11に各計算点毎の南小滝橋地点における、上流の各計算点のハイドログラフを示す。降雨の波形と見合わせると、上流からのハイドログラフの立ち上がり部に降雨波形に対応する残流域の速い流出量が重ね合わさり、立ち上がりの速いハイドログラフが形成されていく様である。特にピーク時においては、上流からの流量ピークでなく残流域の速い流出量によりピークが支配されていることがわかる。

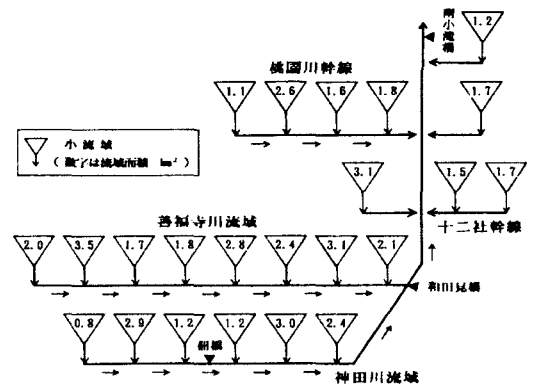


図-9 洪水解析モデル

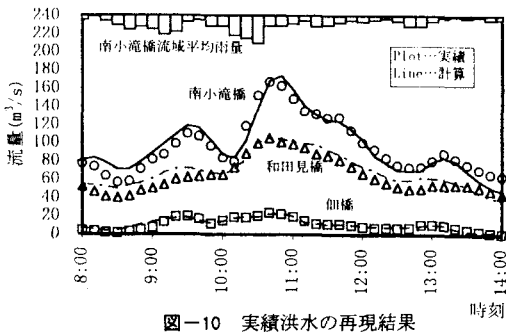


図-10 実績洪水の再現結果

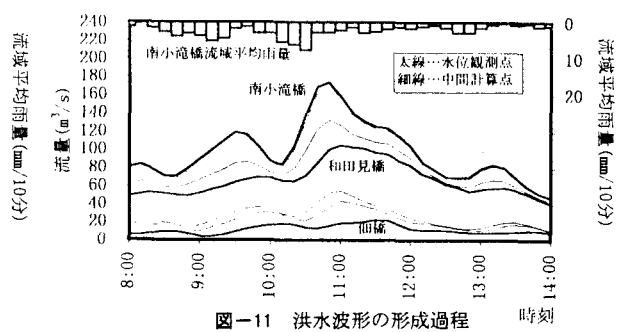


図-11 洪水波形の形成過程

4.3 降雨の集中位置が流出に与える影響

流域内における降雨の集中位置によりどの程度流出波形が変化するかを調べる。図-12に対象とした主に下流部に集中した雷雨の降雨分布を示す。図中点線は対象流域、コンターは2mm/10分毎の降雨の範囲を示す。この降雨分布が上流部あるいは中流部に集中した場合を想定し、先の流出モデルを用いた流出解析結果を図-13に示す。下流域に集中する程、波形は尖鋭に立ち上がりピークも速く大きくなる結果となった。50km²程度の流域でもその内の降雨分布位置によっては、約4割ものピーク流量の変化があり、流出に与える影響は

大きいことが分かる。

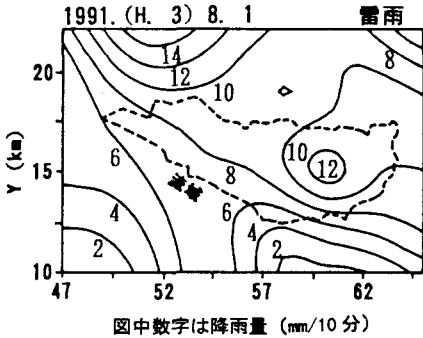


図-12 実績降雨分布

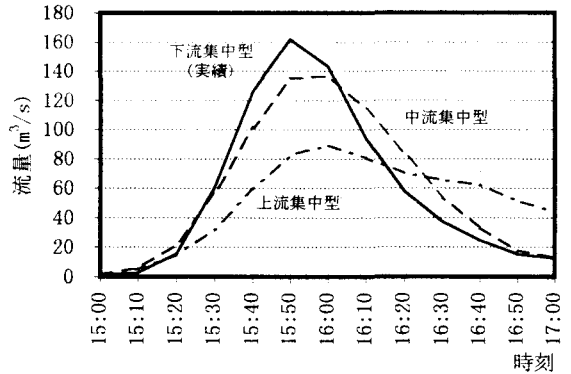


図-13 降雨集中位置と流出ハイドログラフ

5. おわりに

本研究で得られた主な結論を以下に挙げる。

(a) 都市中小河川の流出は極めて速く、降雨のピークから20～30分の遅れで水位のピークが現れることが多い。また、降雨から流出のおくれ時間は、流域が大きい程遅いとは限らず、支川や下水道幹線の合流状況、降雨の集中域により異なる。特に50km²程度の流域でも、下水道流域の流出の影響が大きいと、雨のピークから20～30分のおくれ時間で流出のピークを迎え、上流5km²の地点の流量ピーク時刻と同時刻となることも多い。

(b) 洪水の立ち上がりは、特に雷雨等の降雨自体の立ち上がりが速い場合に極めて速い。また、降雨の集中域により大きく異なり、対象地点近傍の下流域に降雨が集中する場合に洪水の立ち上がりが速い傾向にある。

(c) 洪水解析は、対象流域を2～3km²程度に分割し、降雨強度の時空間的な分布を細かに反映することで、本研究の方法により良好な再現結果を得た。また、この洪水解析モデルを用いて検討を行った結果、50km²程度の小流域でも、全体として同じ流域平均降雨とした場合でも、その集中域により、流出形態（ピーク流量や立ち上がりの速さ）が大きく異なり、都市中小河川の計画や管理を行う上で十分に注意を払う必要がある。

今後は、都市中小河川流域での降雨の移動や消長等の変動特性が流出に与える影響や降雨強度と到達時間、流出係数の関係等につき明らかにしていきたいと考えている。

本検討を進めるに当たり、雨量、水位等の貴重な資料を提供して頂いた、東京都土木技術研究所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 水越三郎, 尊田継明: 都市域からの洪水流出計算(第1報), 土木技術資料8-9, pp.11-18, 1966.
- 2) 木下武雄: 都市化による流出の変化, 土木技術資料9-9, pp.11-15, 1967.
- 3) 山口高志, 松原重昭, 山守隆: 都市における降雨流出調査第3報-修正R.R.L.法の実用化に伴う諸問題-, 土木技術資料15-7, pp.37-42, 46, 1973.
- 4) 和泉清, 吉川秀夫: 下水道整備が洪水流出現象に及ぼす影響, 土木学会論文集第399号/II-10, pp.113-120, 1987.
- 5) 吉野文雄, 米田耕藏: 合理式の洪水到達時間と流出係数, 土木技術資料15-8, pp.3-6, 12, 1973.
- 6) 角屋睦, 福島晨: 中小河川の洪水到達時間, 京都大学防災研究所年報, 第19号B-2, pp.1-10, 1976.
- 7) 福岡捷二, 谷岡康, 高本正彦: 都市域中小河川流域における雨量観測所の密度が面積雨量精度に与える影響, 水工学論文集, 第37巻, pp.27-32, 1993.
- 8) 木下武雄: 到達時間流出率による合理式流出係数の検討, 国立防災科学技術センター研究報告第33号, pp.1-14, 1984.
- 9) 谷岡康, 福岡捷二, 岩永勉, 北川明: 都市域中小河川における洪水水位と雨量の直接的関係を用いた洪水解析, 水工学論文集, 第38巻, pp.69-74, 1994.
- 10) 谷口将俊, 福岡捷二, 谷岡康: 都市中小河川の洪水実態とその解析, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.688-689, 1996.
- 11) 福岡捷二, 川重光正, 谷岡康: 都市中小河川における降雨と流出, 第47回平成7年度土木学会中国支部研究発表会概要集, 1995.