

都市域における洪水排水システムの総合的評価法
Overall Estimation of Urban Storm Drainage System

長崎大学工学部 中村 武 弘 Takehiro NAKAMURA
京都大学工学部 岩 佐 義 朗 Yoshiaki IWASA
長崎大学工学部 野 口 正 人 Masato NOGUCHI

The urban storm drainage model involving river flows, overland flows and drainage pipe flows is proposed with an application to the flush flows induced by heavy rainfalls in Nagasaki on July 23, 1982. Although the flush flows become complicated in an urban area, the interaction between overland flows and those in rivers and drainage pipes can be expressed by this model. Then, the numerical simulation seems to be available for a design of drainage pipes at an urban area.

Keywords : Urban Storm Drainage, Overland Flow, Flood Flow, Drainage Pipe Flow

1. 序論

都市域における雨水排水を適切に行うことは、水防災のみならず快適な生活環境を創造・維持するためにも重要である。実際、好ましい河川管理のためには流域管理が必要になることは当然であり、生活の高度化とともに社会基盤としての下水道の普及は避けられない。従来、ともすれば河道・下水道の断面決定は別個に行われてきたが、これらは本来、都市域の水制御構造物として一体的に取り扱われなければならない。都市域における排水施設を設計するための流出モデルとして、1LSD法、SWMM法、WASSP法、豊国らの方法等、多くの方法が提案されており、実用にも供されている。しかし、これらの方法では、都市域での洪水流をモデル化するにあたって1次元取扱いをしているのがほとんどであり、時として洪水流量を充分正確には把握できない。堤内地の土地利用計画、あるいは出水時の避難計画等を立案する場合には氾濫流の挙動を詳細に知らねばならず、実際の流れを忠実に表現する数値モデルが必要である。これまで、著者らは河道・堤内地共存格子を用いた氾濫解析法について研究を進めてきた。これは、氾濫流に対して2次元解析法を適用し、河道流に対しては詳細な断面諸量を損なうことなく、平面線形を考慮した1次元解析法を適用するものである。この方法の特徴は、計算に用いられる格子間隔より小さな河川幅の河川に対しても適切な水理計算が可能なことであり、多層構造を持つシミュレーションモデルの有用性についてはいくつかのケーススタディーで確かめられた。

そこで本論文は、このモデルをさらに発展させ、下水管流れの計算を行うことにより、都市域の洪水排水流れの挙動をより詳しく表すことを目指したものである。本モデルでは、出水時における雨水の下水管への流入や、マンホール部での下水管からの流出（吹き出し）等を2次元氾濫流との関連で考慮できる。そのため、河川ならびに下水道の両計画で都市域の洪水排水を合理的に評価することが可能である。

2. 洪水排水モデル

本モデルは、河道流・氾濫流および下水管流の3種の流れで構成される。基礎方程式を次に示す。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = q \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\eta}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \frac{\partial}{\partial s} (h_R \cdot \cos \theta) - \sin \theta + \frac{\tau_b}{\rho g R} = 0 \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 A ：流水断面積、 Q ：流量、 q ：単位長さ当りの流入量、 v ：平均流速、 h_R ：水深、 θ ：路床勾配、 R ：径深、 τ_b ：底面摩擦応力、 α 、 η ：運動量補正係数である。

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\xi_1 M^2 / h_1) + \frac{\partial}{\partial y} (\xi_2 MN / h_1) = -gh_1 \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\xi_2 MN / h_1) + \frac{\partial}{\partial y} (\xi_3 N^2 / h_1) = -gh_1 \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 M 、 N ： x 、 y 軸方向の流量フラックス、 h ：水深、 H ：水位、 τ_{xb} 、 τ_{yb} ： x 、 y 軸方向の底面摩擦力、 ξ_1 、 ξ_2 、 ξ_3 ：運動量補正係数である。

これらの基礎方程式については既によく知られているので、詳しい説明は省略する。(3)～(5)式は2次元汜濫解析で常用されるものである。ここで対象としている様な都市域においては、汜濫流は複雑な挙動をするため、計算に用いられた空間格子間隔より小さい小河川あるいは雨水排水路の流れを明らかにすることも、ある程度必要である。もちろん、実用化のためには、一方で計算時間の制約があることは当然であり、河道・堤内地共存格子を用いた計算方法が有用になってくる。本方法では、(3)～(5)式を用いて解かれる2次元汜濫流と(1)、(2)式による1次元不定流計算とが上記の格子でお互いに影響し合うことを考慮している。このように、河道・堤内地共存格子を用いた数値計算においては、河道流と汜濫流とをできる限り忠実に表現しようとして2相構造を有した方法を採用しているが、これは下水管流れに対しても同様に適用される。河道流および被圧（満流）でない時の下水管流れに対しては固定格子点を用いた特性曲線法が適用され、被圧（満流）時の下水管流れに対しては、開水路流れの水位に相当するヒエゾ水頭が計算され、また、汜濫流に対しては差分計算が実行された。3種の流れの概念図を図-1に示す。それぞれが接する部分での取り扱い、まず、河道流と下水管流の合流部では、河道流に対して下水管流は横流入量として取り扱い、下水管流に対しては、河道流の水位を下流端条件として用いた。次に下水管流と汜濫流はマンホール部のみで影響を及ぼし合うこととし、管路の破壊等については考えなかった。また、下水管流に対しては、汜濫流は横流入量として扱われ、汜濫流に対しては、2次元平面上に配置された、流入・流出点と見なし、流出量の値は水位差による越流量公式を適用した。最後に、河道流と汜濫流の両方が存在する河道・堤内地共存格子では、堤内地を等価な面積を持つ矩形に置き換え、河道側境界部からの流量フラックスの成分を越流量公式から計算し、運動量方程式(2)に用いた。

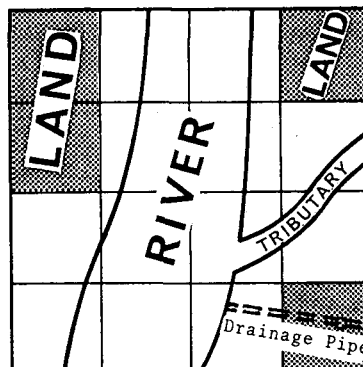


図-1 計算格子

3. 実流域への適用

本モデルの妥当性を検討するため、昭和57年7月の長崎豪雨を対象にした浦上川流域での計算を行った。図-2に計算対象とした浦上川下流域を示す。河道の計算範囲は、上流端での境界条件が与えられた浦上水源池下流の大井手地点から、下流端の長崎港までである。本川に途中で合流する支川としては、下の川、城山川、岩屋川の3川が考慮された。城栄川は規模が大きくないため、その流量は残流域からのものと同様に横流入量として取り扱われた。上下流端の境界条件はそれぞれ流量と潮位で与えられた。氾濫流の計算範囲は、同図中の斜線部分の松山町と浜口町を中心とした市街地であり、図-3に示されている。この氾濫計算の範囲には、上記支川のうち下の川と城山川が含まれている。空間格子間隔は50mで、河川幅がそれより小さい部分もあり、河道に沿って河道・堤内地共存格子が存在している。上述された地域が本格的に市街化されたのは昭和の時代になってからであり、その様な意味では歴史の浅い「新興」市街地である。中心部にも近く、長崎市が市勢を広げる上で重要な位置を占めているにも拘らず、低平地であるため、豪雨のたびに絶えず浸水の危機にさらされてきた。付近には、長崎県におけるふるさとの川モデル事業で取り上げられようとしている河川公園もあり、耐水性に富んだ町づくりを進める上で要ともなる地域である。これらの事情を反映して、本地域には重点的に雨水配水管が敷設されているが、ここでは計算の便宜上、浜口町北部で本川と下の川の合流部に流入する延長405m、管径1.8mの下水道を取り上げ、下水管流の計算が行われた。もちろん、本地域の浸水状況の全体像を細部に渡って明らかにするためには、他の下水管系統も考慮されるべきであるが、本論で取り上げられた方法の有用性を検討するには、これで十分であろう。

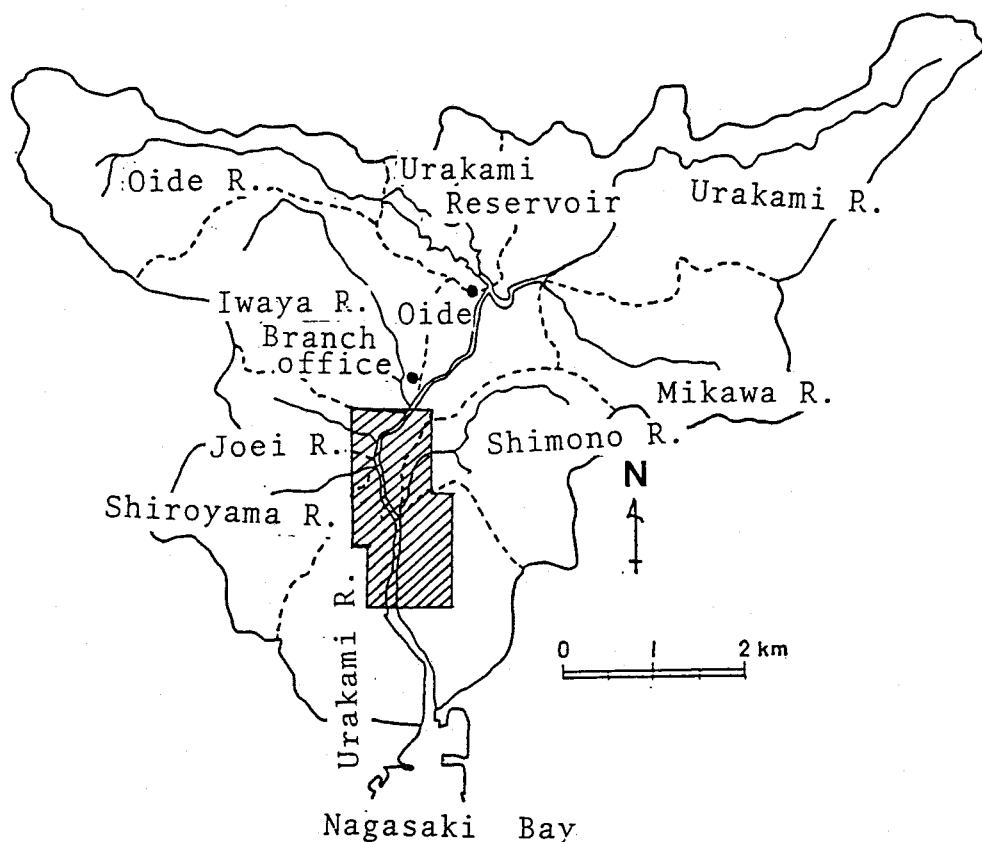


図-2 浦上川流域

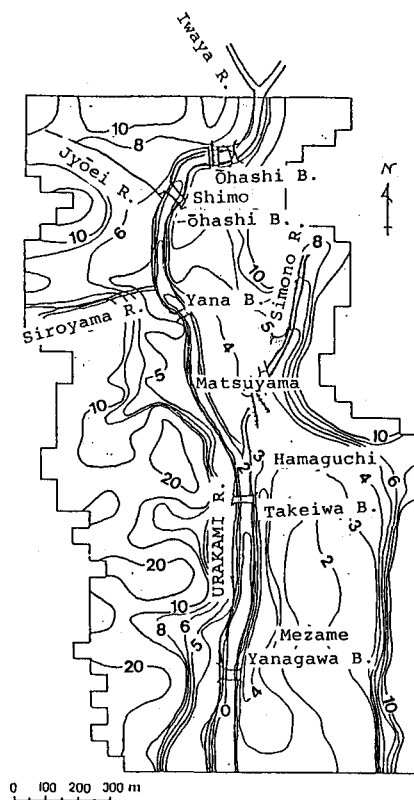


図-3 氾濫計算領域

つぎに計算結果について述べる。まず下水管流の計算結果を図-4に示した。横軸には本川合流部を始点とした追加距離を取り、各時刻における動水勾配線を示した。本図より、降雨が激しくなってきた18時50分には、管路流は被圧（満流）状態に移行し、19時10分にはM2マンホールからの排水が不能になり、

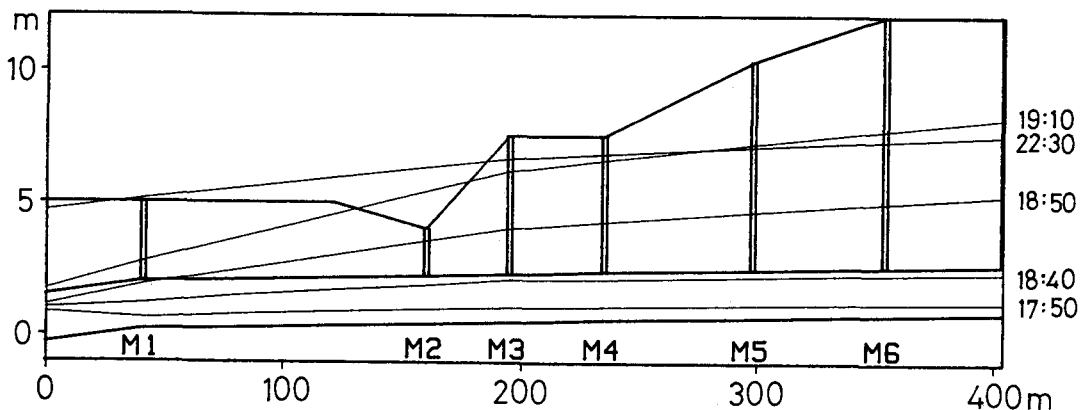


図-4 下水管流の動水勾配線

堤内地への流出が始まっていることが分かる。また、本川水位の上昇と共に下水管の疎通能力が急速に落ちてきている。次に氾濫計算結果における19時20分と19時50分の流量フラックスを図-5に示す。19時20分の図にはM2マンホールからの流出水が広がる様子が読み取れる。続いて19時50分の図では、本川と下の川の合流部付近で、河道から堤内地への越水が始まったことが分かる。以上の結果は、河道からの越水以前にマンホール部からの流出が起こっていたという聞き取り調査の結果とも良く符合している。次に浸水深の計算結果を現地観測の結果と共に図-6に示す。また、河道・堤内地共存格子を用いた本モデルの有効性を示すため、通常の2次元氾濫計算による結果も比較のために図-7に併せて示された。両図より、小河川が錯綜している都市域においては、本モデルの様な計算手法は有効であり、下水管断面の決定にあたっても有益な指針を提供するものと思われる。

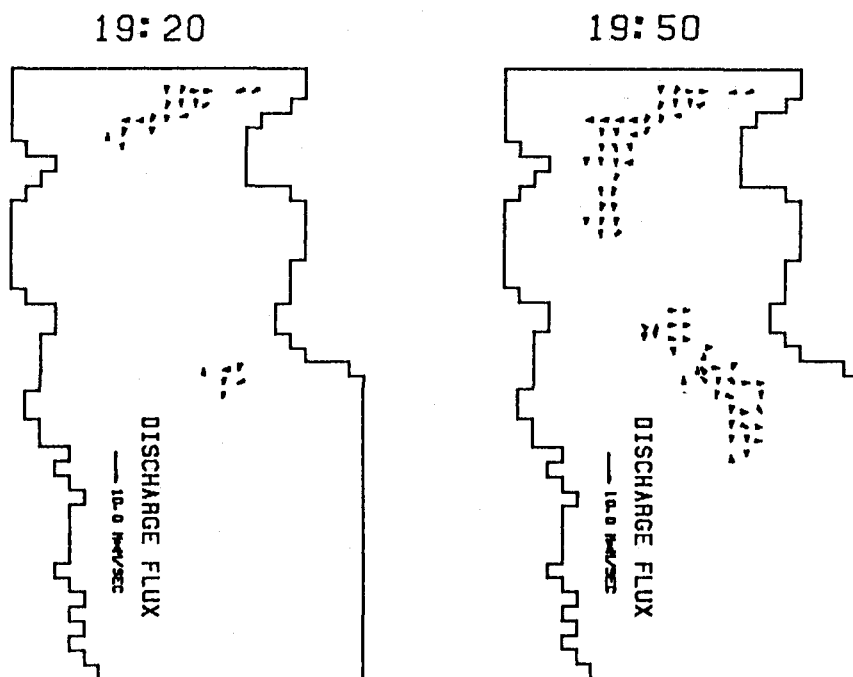


図-5 流量フラックス

4. 結論

河道・堤内地共存格子を用いた氾濫解析法は、多相構造をしているため、その一つに下水管流れを組み入れて都市域の洪水排水モデルとして役立てようとした。このモデルを長崎水害の氾濫流に適用した結果、下水管を介した内水氾濫の状況を予測するにあたっても有用であると思われる。今後は、より多くの事例に対して計算を行い、低平地都市域の流出解析法として充分に実用に供されるモデルにしたいと考えている。

参考文献

- 1) Y. Iwasa, M. Noguchi and T. Nakamura : Simulation of Urban Storm Drainage Involving River and Overland Flows, 22nd Congress IAHR, 1987.
- 2) M. Noguchi and T. Nakamura: Effect of Boundary Condition on the Computation of Urban Storm Drainage, 6th Congress APD-IAHR, 1988.

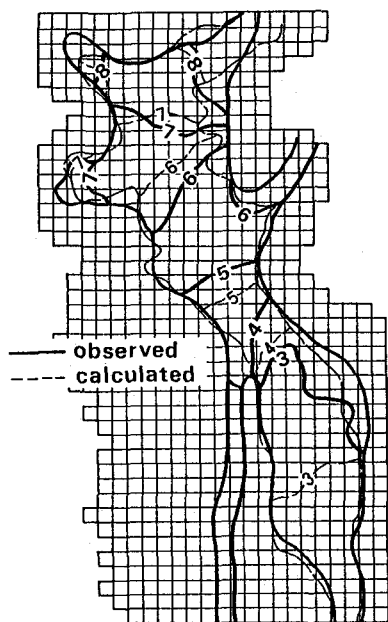


図-6 本モデルの計算値と観測値
の浸水深の比較 (単位: m)

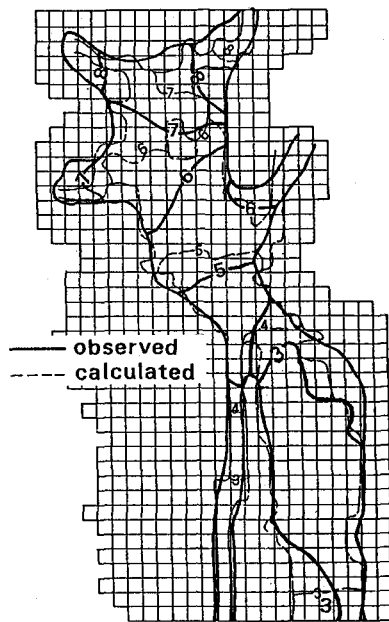


図-7 2次元汜濫解析の計算結果と観測値の
浸水深の比較 (単位: m)