

洪水氾濫解析におけるビル, 建物群の抵抗評価 -1999 年 6 月福岡水害を事例として-

橋本 晴行¹・朴 崎 璣¹・加藤 修二²・前田 あかね²

¹九州大学大学院 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

²九州大学大学院 工学府 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

1. はじめに

1999 年 6 月 29 日午前, 福岡市では 6 月の 1 時間雨量としては観測史上最大の降雨 (77mm/hr) を記録した. このため, 都市機能の集中した博多駅周辺において, 2 級河川御笠川およびこれに合流する山王放水路が氾濫し, 都市機能を麻痺させた (図-1). 著者らは, 水害発生直後より水害の実態について聞き取り調査を行うとともに, 河川からの越流・氾濫の時間的な経緯を, 洪水流の 1 次元不定流計算および氾濫解析を行い明らかにしてきた^{1)~3)}.

氾濫解析については 2 次元不定流モデルを中心に数多くの研究^{4)~10)}が行われてきた. しかしながら, ビルが密集する都市域についてはあまり解析事例もなく, 抵抗則の評価が課題として残っている.

本研究は, ビルが密集する都市域における洪水氾濫流を対象とし, 2 次元不定流モデルの抵抗則として最適な表現法について検討したものである. すなわち, 抵抗項として, マニング式のみを用いた場合, マニング式を用いた底面摩擦に加えて建物の形状抵抗をも考慮した場合について, それぞれマニングの粗度係数, 抗力係数を変化させて, 浸水深の時間変化を求め, 調査結果と比較し考察したものである.

2. 氾濫解析

(1) 基礎式

運動方程式と連続式は式 (1)~(3) のように与えられる. なお, 道路, 駐車場, 田畑などの平地はその用途を区別せず, ビルなどの建物は面積密度, 形状抵抗としてそれぞれ考慮される.

x 方向運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(UM)}{\partial x} + \frac{\partial(VM)}{\partial y} = -gh(1-\lambda)\frac{\partial(h+z)}{\partial x} - \frac{\tau_{0x}}{\rho} \quad (1)$$

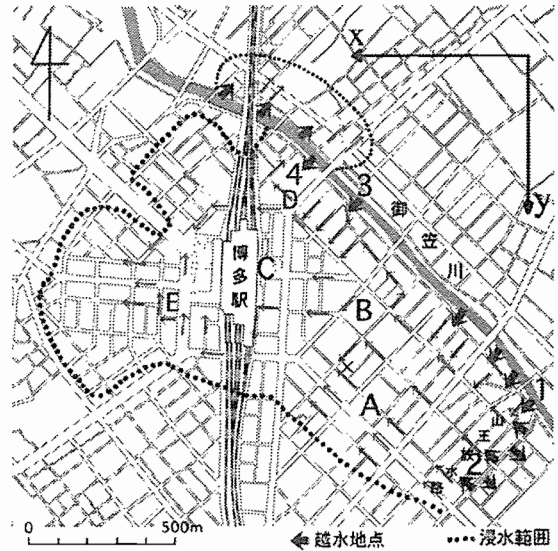


図-1 博多駅周辺における氾濫状況

y 方向運動方程式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(UN)}{\partial x} + \frac{\partial(VN)}{\partial y} = -gh(1-\lambda)\frac{\partial(h+z)}{\partial y} - \frac{\tau_{0y}}{\rho} \quad (2)$$

連続式

$$(1-\lambda)\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r - q_{sink} \quad (3)$$

ここに, M : x 方向の単位幅当りの流量, N : y 方向の単位幅当りの流量, h : 水深, λ : 建物の面積密度, τ_{0x} : 単位面積当たりの抵抗力の x 成分, τ_{0y} : 単位面積当たりの抵抗力の y 成分, U : x 方向の断面平均流速, V : y 方向の断面平均流速, z : 地盤高, r : 雨量強度, q_{sink} : 単位面積当りの排水量である. ここに, M と N は式 (4) のように与えられる.

$$M = Uh(1-\lambda), \quad N = Vh(1-\lambda) \quad (4)$$

(2) 抵抗項の評価

式 (1), (2) における抵抗力 (τ_{0x}, τ_{0y}) の評価法として, 建物の形状抵抗を考慮した方法を採用し, 形状の異なるケースを想定した.

$$\tau_{0x}/\rho = (1-\lambda) \frac{gn^2 U \sqrt{U^2+V^2}}{h^{1/3}} + N_d D_x / \rho \quad (5)$$

$$\tau_{0y}/\rho = (1-\lambda) \frac{gn^2 V \sqrt{U^2+V^2}}{h^{1/3}} + N_d D_y / \rho \quad (6)$$

$$D_x = \frac{\rho}{2} \sqrt{U^2+V^2} U A C_D \quad (7)$$

$$D_y = \frac{\rho}{2} \sqrt{U^2+V^2} V A C_D \quad (8)$$

ここに, N_d : 建物の数密度 ($1/m^2$), n : マニングの粗度係数, D_x : 建物の形状抵抗の x 成分, D_y : 建物の形状抵抗の y 成分, A : 流れに直角な建物の浸水断面積, C_D : 抗力係数である.

d を流れに直角な建物の浸水断面積の平面方向のスケールとし, h を浸水深として $A=hd$ となる. 計算ケース別の d は表-1 に示す.

(3) 初期・境界条件

氾濫場の初期条件としてドライベットを想定した. また境界条件として, 御笠川左岸と山王放水路左岸の越流量 (図-2) と越流水深を越流地点で与えた.

(4) 計算条件

計算対象のエリアは博多駅周辺の $2300m \times 2500m$ の氾濫場である. 計算対象時間は 1999 年 6 月 29 日 6 時 ~ 1999 年 6 月 29 日 24 時である. 差分化にはスタガードスキームを採用した. 空間刻み幅をどう取るかが問題であるが, 地形情報の読み取り精度とピルの密集を考慮して, ここでは比較的大きくとり $\Delta x = \Delta y = 100m$ とした. また時間刻み幅は $\Delta t = 5sec$ とした.

閾値の水深を $0.001m$ と設定した. 計算では水深が閾値より小さい場合メッシュ上での流入流量は認めるが流出流量は存在しないことにした.

地盤高 z , 建物の面積密度 λ , 建物の数密度 N_d は福岡市作成の $1/2500$ の地形図から読みとった. その結果, 平均的には $\lambda = 0.316$, $N_d = 0.00146$ ($1/m^2$) となった. 建物個数は, 一つのメッシュ内に平均 14.6 個存在することになった. また平面方向の建物スケールは建物が正四角柱と仮定する場合, $d = 14.7m$ となった.

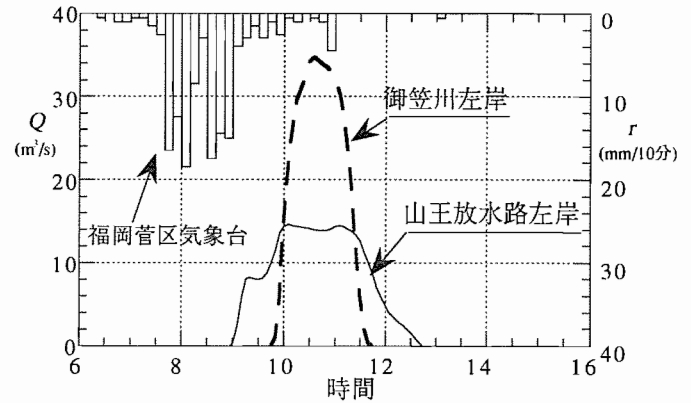


図-2 越流量と降雨量

表-1 計算ケース

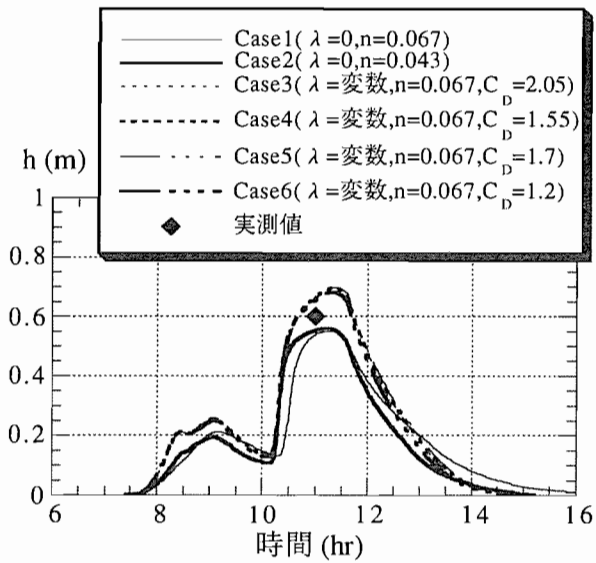
| | |
|---|--|
| Case 1: $\lambda = 0$, $n = 0.067$ とおいた場合. | |
| Case 2: $\lambda = 0$, $n = 0.043$ とおいた場合. | |
| Case 3: $\lambda =$ 変数, N_d 変数 $d = \sqrt{\lambda/N_d}$, $n = 0.043$, $C_D = 2.05^{11)}$ とおいた場合. | |
| Case 4: $\lambda =$ 変数, N_d 変数 $d = \sqrt{\lambda/N_d}$, $n = 0.043$, $C_D = 1.55^{11)}$ とおいた場合. | |
| Case 5: $\lambda =$ 変数, N_d 変数 $d = \sqrt{4\lambda\sqrt{3}N_d}$, $n = 0.043$, $C_D = 1.7^{11)}$ とおいた場合. | |
| Case 6: $\lambda =$ 変数, N_d 変数 $d = \sqrt{4\lambda/\pi N_d}$, $n = 0.043$, $C_D = 1.2^{11)}$ とおいた場合. | |

降雨資料としては 1999 年 6 月 29 日福岡管区気象台で観測された 10 分間降雨量を用いた (図-2). 単位面積当りの排水量 q_{sink} は, 便宜上, 氾濫エリア内のポンプ場の実績排水量をもとに換算して求めた.

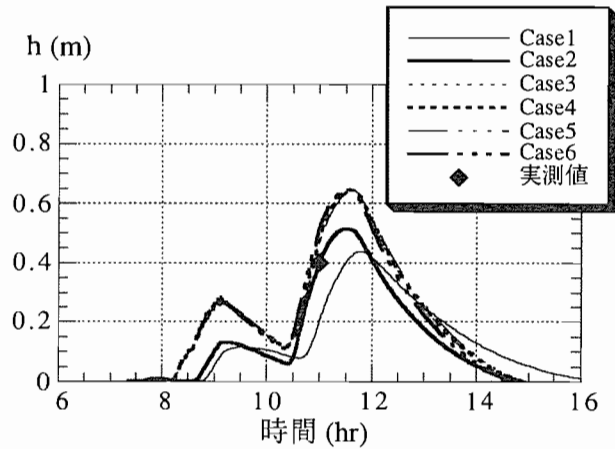
計算は, 表-1 のように 6 ケースについてそれぞれ n , C_D を与えて行った. Case 1, 2 は抵抗則として, マニング式のみを用いた場合である. Case 1 のマニングの粗度係数は市街地の氾濫解析に対して提案されている $n=0.067^{7)}$ を, Case 2 では道路の氾濫解析に対して提案されている $n=0.043^{9)}$ を用いた.

Case 3 ~ Case 6 はマニング式を用いた底面摩擦に加えて建物の形状抵抗をも考慮した場合について調べたものである.

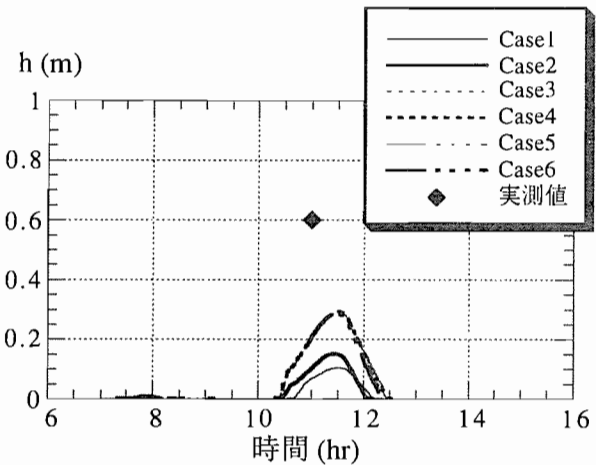
Case 3 では建物の形状を流れに対して直角な正四角柱に, Case 4 では流れに対して 45° 傾いた正四角



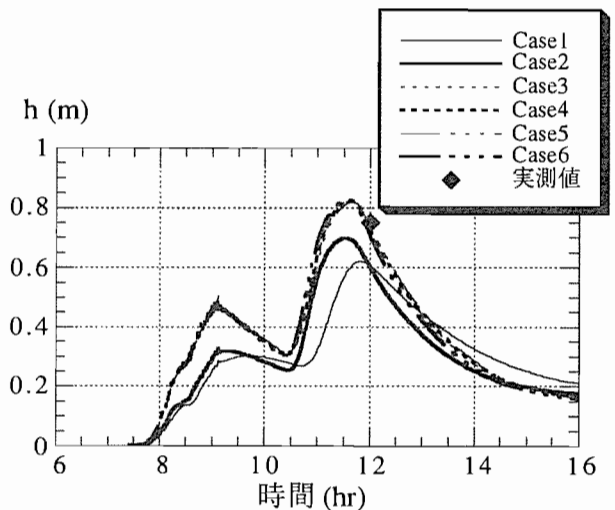
(a) 東福第二ビル (A 地点)



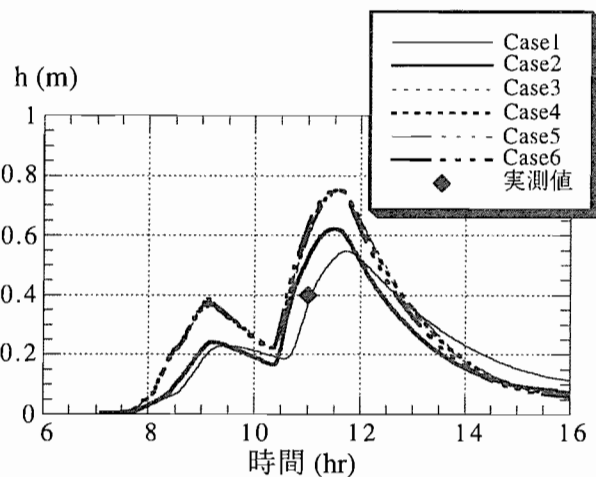
(d) 博多駅筑紫口北 (C 地点)



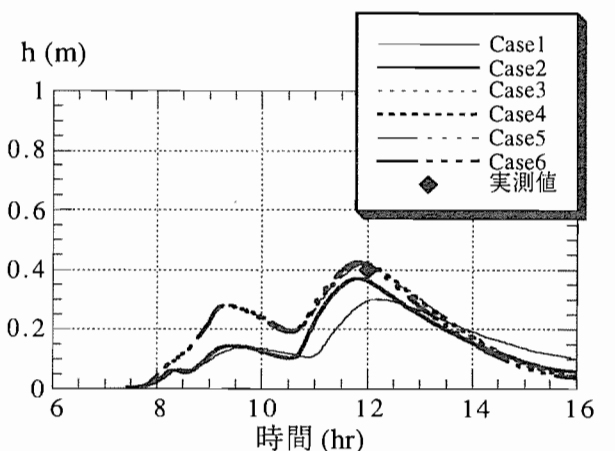
(b) 福岡合同庁舎 (B 地点)



(e) 堅粕小学校 (D 地点)



(c) 博多駅筑紫口南 (C 地点)



(f) 博多駅博多口 (E 地点)

図-3 各ケース毎に計算された各地点での浸水深の時間変化

柱に、Case 5では正三角柱に、Case 6では円柱と想定した。建物密度 λ は、Case 1, 2の評価では0、Case 3~6では変数として格子毎に与えた。

3. 計算結果と考察

図-3(a)~(f)は、博多駅周辺の実測値が得られた6地点での浸水深の計算結果を、各場所別に示している。

いずれのケースにおいても、各地点での浸水深は8時~9時に増加し、その後一旦減水した後さらに10時30分頃から急増する。8時~9時での浸水深の増加は、御笠川と山王放水路からの越流がまだなかったことから(図-2参照)、この時間帯の降雨に起因して発生した内水氾濫と考えられる。一方、10時30分頃からの浸水深の増加は、この時点では降雨量が少なく、御笠川と山王放水路からの越流がピークに達していたことから、主に御笠川と山王放水路からの越流に起因した外水氾濫と考えられる。

図-3(a)~(f)中のCase1とCase2は $\lambda=0$ の条件でマンシングの粗度係数が異なる。粗度係数が浸水深に与える影響をみると、マンシングの粗度係数が小さいCase2の方がマンシングの粗度係数が大きいCase1より水深の立ち上がりと水深のピーク時間が早い。また、越流地点から約600m離れた東福第二ビル(図-3(a))ではCase1とCase2の最大水深はほぼ同一であったが、約1000m離れた博多駅付近(図-3(c),(d))ではCase1よりCase2の最大水深が大きかった。本解析においては、最大水深は越流地点から約500m以内の地点ではマンシングの粗度係数が大きい方が高く、越流地点から約500m以上離れた地点ではマンシングの粗度係数が小さい方が高かった。

図-3(a)~(f)中のCase3~Case6はCase2の条件に λ =変数と建物形状による抵抗を加えた解析結果である。Case2と比較すると最大水深が高く、水深の立ち上がりも早くなった。また、建物の形状の違いによる解析結果の差はほとんど見られず、Case3~Case6の解析結果はほぼ同じであった。実測値と解析結果を比較すると、建物の形状抵抗を考慮した場合のCase3~Case6の解析値がより実測値に近い結果となった。

一方、福岡合同庁舎でのピーク水深は計算結果が実測値より過小な値となった。これは地盤高や実測値の精度に起因したものと考えられる。

4. おわりに

1999年6月29日博多駅周辺で発生した洪水氾濫流を対象として平面2次元氾濫モデルの抵抗則について調べた。抵抗として、マンシング式のみを用いた場合と、マンシング式を用いた底面摩擦に加えて形状抵抗をも考慮した場合についてそれぞれ氾濫計算を行った。また、前者についてはマンシングの粗度係数の値について、後者については抗力係数について検討した。その結果、大略の傾向はあまり変わらないが、底面摩擦に加えて形状抵抗をも考慮した場合に調査結果との適合性が良好であることが分かった。

謝辞：本調査に際しては、福岡県河川課、福岡市下水道局に災害資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 橋本晴行・松永勝也・南里康久：1999年6月福岡水害における氾濫水の挙動と水害体験者の対応・意識、自然災害科学, JJSNDS 20-1 43-58, 2001.
- 2) 橋本晴行・朴 崎 瑛・南里康久・渡辺政広：1999年6月福岡水害時に発生した御笠川および山王放水路の洪水流について、河川技術論文集, 第7巻, 2001.
- 3) 橋本晴行・朴 崎 瑛・加藤修二・山崎一彦・天方匡純：1999年6月福岡水害における博多駅周辺の洪水氾濫解析、河川技術論文集, 第8巻, 2002.
- 4) 岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文：氾濫水の水利の数値解析法、京都大学防災研究所年報, 第23号, B-2, 1980.
- 5) 中川 一：洪水および土砂氾濫災害の危険度評価に関する研究、京都大学博士論文, 1989.
- 6) 佐藤智・今村文彦・首藤伸夫：洪水氾濫の数値計算および家屋被害について、第33回水理講演会論文集, 1989.
- 7) 例えば井上和也・戸田圭一・林秀樹・川池健司・坂井広正：市街地における氾濫解析モデルの考察、京都大学防災研究所年報, 第41号, B-2, 1998.
- 8) 末次忠司・栗城稔：改良した氾濫モデルによる氾濫流の再現と防災への応用に関する研究、土木学会論文集, No.593, II-43, 1998.
- 9) 福岡捷二・川島幹雄・松永宜夫・前内永敏：密集市街地の氾濫流に関する研究、土木学会論文集, No.491, II-27, 1994.
- 10) 福岡捷二・川島幹雄・横山洋・水口雅教：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究、土木学会論文集, No.600, II-44, 1998.
- 11) 椿東一郎：水理学II, 1988.

(2002. 12.9 受付)