

II-57

洪水氾濫解析に基づく避難シミュレーション

前田建設工業（株） 正員 東山 基
京都大学防災研究所 正員 高橋 保
京都大学防災研究所 正員 中川 一

1・はじめに 本研究では、二次元平面流れの解析に基づいて氾濫水の挙動をシミュレートし、流域内に避難経路、交差点及び避難地からなる避難ネットワークを構成して、氾濫水のdynamicな挙動を考慮した避難のシミュレーション法を提示する。ついで、本手法を京都盆地南部の巨椋流域に適用して、種々の避難条件下で避難の難易がどのようになるかを検討する。

2・洪水氾濫解析の基礎式 氾濫解析に用いた基礎式は、以下に示す二次元平面流れに関する運動量式と連続式である。
ここに、各 $\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \dots\dots(1)$ $\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \dots\dots(2)$
変数の記号は $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \dots\dots(3)$ $\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$ $\frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \dots\dots(4)$
慣例のものである。

以上の基礎式を差分化して、氾濫水の流動に対する格子内家屋群の影響を考慮するため、通過率による流量fluxの補正を行った数値計算を実行するが、これには著者らが以前に行った方法を用いる¹⁾ことにする。

3・避難行動のシミュレーションの概要 対象とする流域の避難施設、避難経路に基づいて図1に示すようなネットワークを、結節点（ノード、交差点）とそれらを結合する経路（リンク）を組み合わせて構成する。その際、避難施設は小・中・高等学校、公民館等の避難施設として公的に定められたものを用い、避難経路は、道路幅員、住民の周知度等を考慮して国道、主要地方道、堤防上の道路を採用する。避難経路の冠水情報と氾濫計算から求まる各格子の水深とを対応付けるため、避難経路は格子の中央とその格子に隣接する周囲8個のいずれかの（複数でもよい）格子の中央を結んだ直線群（図1の太実線）から構成されるとする。

一般に、複数箇所に存在する避難施設の中から、住民が一つの避難施設を選択する際に考慮すべき要因の中でも、その施設までの距離が特に重要である。このような観点から住民の避難施設の選択をネットワーク理論の最短経路選択問題としてモデル化し、任意の2点間の最短距離・経路を求めるための簡便な方法であるWarshall-Floyd法を用いて²⁾これを解く。

避難経路が氾濫水で冠水した場合、その経路は冠水の程度によって通行が困難になる。ここでは、西原³⁾と同様に、冠水深に応じた歩行割引率を次式のように定義し、計算上冠水した経路の距離を長くするようにする。

$$W_{(ij)}^t = 1 - h_{(ij)}^t / 0.7 \quad (W_{(ij)}^t > 0) \dots\dots(5)$$

$$d_{(ij)}^t = (1/W_{(ij)}^t) d_{(ij)} \dots\dots(6)$$

ここに、 $W_{(ij)}^t$ ；時刻tの格子(i,j)に対応した区間の歩行割引率、 $h_{(ij)}^t$ ；時刻tの格子(i,j)の冠水深、 $d_{(ij)}^t$ ；格子(i,j)に対応する区間の距離、 $d_{(ij)}^t$ ；時刻tの格子(i,j)に対応する冠水により換算された区間の距離。なお、過去の事例をもとに、冠水深が70cm以上であれば通行不可能とし、その格子内にいる住民グループはその時点で避難不可能となるものとする。また、ある時刻の住民の歩行速度Vについても、西原³⁾と同様、避難による疲労と群集流動とを考慮した次式で求める。

$$T^t = 1.0 / \{0.982 + \exp(1.12t - 4.0)\} \quad (\text{unit: hour}) \dots\dots(7)$$

$$U_n^t = \begin{cases} 1.42 - 0.241 \rho_n^t & (\rho_n^t \leq 3.85) \dots\dots(8) \\ 0.49 & (\rho_n^t > 3.85) \dots\dots(9) \end{cases}$$

$$V = T^t \cdot (U_n^t / c) \cdot c \dots\dots(10)$$

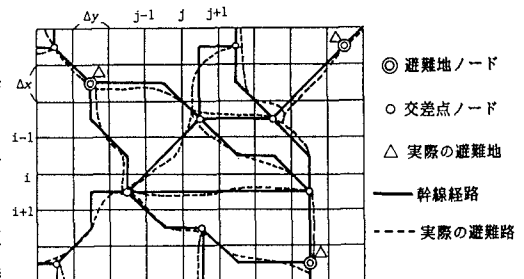


図1 避難ネットワークの配置

ここに、 c ；通常の歩行速度(1.4m/s)， t ；避難開始からの経過時間， T^t ；疲労による歩行割引率， ρ^t ；時刻 t での経路 n 上の群集密度(人/m²)， U^t ；時刻 t での経路 n 上の群集流動の速度(m/s)。

4・巨椋流域を対象とした避難のシミュレーション 図2に仮想の破堤地点と避難地および交差点ノード、避難予警報発信の基地局及び幹線避難経路を示す。基地局には7箇所の消防署を選び、避難予警報はこの基地局を中心にある速度をもって同心円状に広がっていき、住民はこの情報が到達すると同時に避難を開始する。表1に計算ケースを示す。伝達速度 V_t は、避難予警報の発令と同時に一斉に各住民グループが避難を開始する場合($V_t=\infty$)と、 $V_t=5.0$ m/sおよび $V_t=1.4$ m/sを用い、避難予警報の発令時期 T_s は破堤前0,15,30分とした(破堤時を $T_s=0$)。図3に計算で用いた木津川と宇治川の流入境界でのハイドログラフを示す。氾濫計算は河道も含めて行い、 $\Delta t=2$ 秒， $\Delta x=\Delta y=125$ m，Manningの粗度係数は堤内地 $n=0.04$ ，河道内0.025とした。避難行動の計算は60秒毎に1回行った。道路幅員は、国道1号線が13m、24号線と主要地方道が9m、その他の道路が5mとした。

図4はCASE 1-Aについて、破堤10,40分後において、最初にどの格子にいた住民が現在避難中か、避難を完了したかあるいは避難不可能な状態になったかを示したものである。破堤後10分では、破堤口付近の住民は避難不可能な状態になっている。破堤と同時に全グループが一斉に避難するため、

破堤点から離れたところでも避難しており、避難地までの距離が長い国道1号線付近には避難中のグループが多い。破堤40分後では、避難完了のグループが増えているが、破堤点周辺では氾濫域の拡大により移動不可能になったグループも増加している。表2は、各ケースの破堤後40分、4時間(CASE 1-Jのみ)における避難完了者数、遭難者数(避難不可能になった者)、避難完了者の平均避難所要時間、避難不可能になった者(遭難者)の平均避難行動時間をまとめたものである。これより、破堤後40分までに全員が避難地に無事到着するには、少なくとも破堤30分前には避難予警報を発令し、しかも情報の伝達速度が5.0m/s以上必要であることがわかる。

5・おわりに 氾濫水のdynamicな動きを考慮した避難のシミュレーションがある程度可能となった。しかし、実際の避難行動には住民の心理状態等の種々の複雑な要因が関連しており、今後はそれらを考慮したより現実的な避難のシミュレーションに改良する必要がある。

<参考文献> 1) 高橋ら：京大防災研年報，第29号B-2，1986。 2) 伊理・古林：ネットワーク理論，日科技連，1976。 3) 西原：京大学位論文。

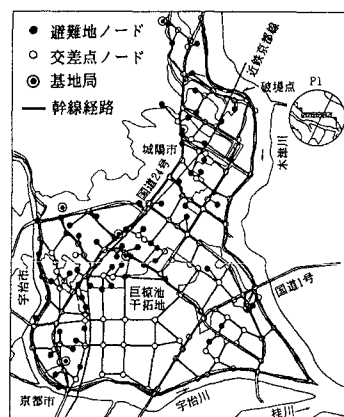


図2 巨椋流域における避難地・避難経路の配置

表1 計算ケース

CASE	V_t	T_s
1-A	∞	0
1-B	5.0	0
1-C	1.4	0
1-D	∞	-900
1-E	5.0	-900
1-F	1.4	-900
1-G	∞	-1800
1-H	5.0	-1800
1-I	1.4	-1800
1-J	水が来たら避難	

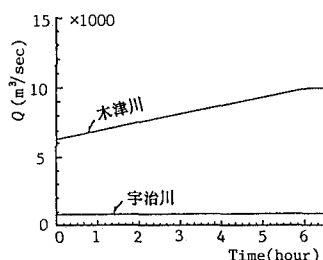


図3 計算に用いたハイドログラフ

表2 破堤40分後の各ケースの避難状況

CASE	避難完了者数(人)	遭難者数(人)	平均避難所要時間(秒)	避難者平均避難行動時間(秒)
1-A	154,367	14,081	493	373
1-B	148,598	17,324	461	246
1-C	129,898	24,714	384	129
1-D	175,887	1,327	453	1,146
1-E	171,465	3,737	466	832
1-F	154,898	13,327	451	231
1-G	177,930	0	341	-
1-H	177,930	0	341	-
1-I	171,623	3,622	453	555
1-J	67,277	76,928	433	314

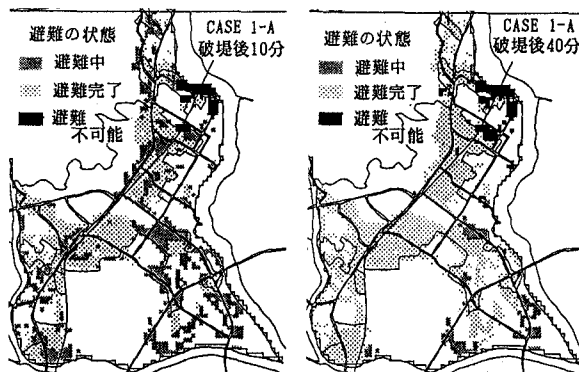


図4 破堤10,40分後の避難状況