

地震水害の危険度

新井 邦夫* 丸井 信雄*

要 約

破堤に起因する浸水の危険度が、堤防の危険度に比例し、浸水到達時間に反比例すると仮定し、東京都東部低地について、その地域的分布を明らかにした。

本文中に示した分布図は、既存の広域避難地や、避難経路の計画に対し、再考をうながすいくつかの問題を提起している。

1. はじめに

貯水池堰堤、給水タンク、0 m 地帯の堤防、上下水道管渠等の水理構造物が地震によって破壊され、浸水被害が発生する場合、この浸水現象を地震水害という(丸井等, 1978)。東京の場合、上に示した構造物はいずれも存在するので、出現しうる水害の態様は多様であると考えねばならない。しかし、他の都市と比較して、特に注意すべき現象は「地下空間の水没」と「東部 0 m 地帯の地表湛水」であろう。

地下空間は、通常、地表等に存在する水体の下に位置するから、本質的に浸水に弱い。東京には、一般ビルの地下室以外に、地下鉄、道路トンネル地下街等、不特定多数の人間によって利用される地下空間が高度に開発されており、その浸水の危険性について、注意がはらわれていなければならない。ただし、今日までの知見によれば、地下空間構築そのものが地震によって破壊するとは考えにくいので、地下への浸水は、地表に湛水した水が出入口や換気口等の開口部を經由して、発生する可能性が高い(新井等, 1978)。

東京で、最も深刻な被害を起すと考えられる地震水害は、やはり何といっても東部低地における破堤浸水である。東京都防災会義(1978)は詳細な分析を経て、当該地域での破堤浸水は避けられないと結んでいる。破堤に伴う浸水の危険性を強く認識しておくことが、被害を最小限にとどめる最善の方法と考えられ、ここに浸水危険度の表示の必要性がある。

本報告は、地震水害危険度について、一つの表示法を提起したものである。

2. 破堤浸水の危険度

東京都(1974)は、「破堤浸水によって流出・湛水の被害が発生する地域は地盤高に支配される」とし、地震水害危険度を図示した。このような表示は、浸水が始まってからかなりの時間が経過した後の状態を表現している。破堤に伴う浸水危険度としては、これだけでは十分でなく、避難の緊急度も加味される必要がある。なぜなら、個々の住民にとってこの種の水害は、みずからの責任に帰着する出火危険等と違って、責任のない公共構造物の破壊を原因とする災害で、専ら避難のみを考えねばならない現象だからである。つまり、表示される危険度は、避難余裕時間を意味する浸水到達時間によって表現されることが望ましい。

この要求を満たすため、基本理論として bry bed 上を進行する段波の挙動に関する研究の成果を利用することになるが、未解明の部分が多い分野である。丸井等(1980)は、実用性を重視した考察を実施し、いくつかの理論解を導出した。

2次元の場合について、その結果を示すと次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\omega}{\sqrt{2gH}} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\left\{ \left(1 + 2 \frac{gl}{C^2 H} \right)^2 + 3 \right\}^{1/2} \right. \\ &\quad \left. - \left(1 + 2 \frac{gl}{C^2 H} \right) \right]^{1/2} \\ t &= \int_0^l \frac{1}{\omega} dl \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、個々の記号の意味は次の通りである。

ω : 段波の波速

H : 初期水深

* 東京都立大学都市研究センター・工学部

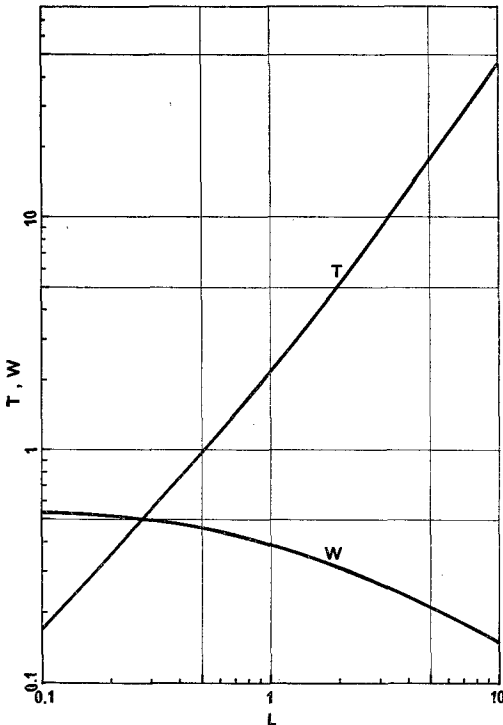


図1 浸水到達距離(L)と浸水速度(W), 浸水到達時間(T)の関係

l : 段波先端の到達距離 t : 段波先端の到達時間
 C : シェジャー公式の定数 g : 重力加速度

図1に、上式の関係をもとに、 $W = \omega / \sqrt{2gH}$, $L = gl / (C^2 \cdot H)$, $T = t \sqrt{2g} / (C^2 H^{1/2})$ と無次元化して示してある。

この図を使えば、堤防からの距離、 l 、および初期水深、 H が与えられた時の浸水到達時間、 t および段波の波速つまり浸水速度、 ω の概略値を知ることができる。例えば、初期水位2mを維持する堤外水が堤防から500m離れた地点に到達する時の t 、および ω は次のように求められる。

$C=50$ と仮定(マニングの粗度係数を0.022)すると、 $L=1$ 、 L と W の関係から $W=0.4$ すなわち、 $\omega=2.5$ m/sec、 L と T の関係から $T=2$ すなわち、 $t=79$ secを得る。

実際の浸水は上のように簡単ではなく、3次的に拡がっていく。有賀(1977)は、このようなはんらん水の拡がりについて実験を実施し、いくつかの実験式を確立した。その一つは次の通りである。

$$\frac{Y}{H_0} = 3.3 \times T^{0.65} \quad (\text{ただし } H_0 > 0.2 \text{ m}) \quad (2)$$

これは、拡がり角が三角形形状になるとした時、浸水の到達

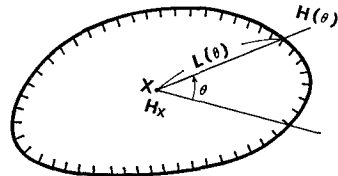


図2 浸水危険度計算の説明

距離 Y 、と初期水深、 H_0 および浸水到達時間 $T = t \cdot \sqrt{g/H_0}$ の関係をあらわしている。ただし、 t は秒単位の実時間、 g は重力加速度である。

(2)式を t を求める形に書き改めると、

$$t = 0.051 \cdot Y^{1.51} / H_0^{1.04} \quad (2')$$

となる。上に示した例($Y=500$, $H_0=2$)について計算してみると、 $t=356$ secとなる。(1)式による解との大きな差が単に次元的な差異にのみ依存するのかどうか不明である。しかし、いずれの式を利用しても、浸水到達時間の相対比較は可能である。

さて、以上の考察から、地盤高が堤外水位より低いある地点の浸水危険度について、次のような仮定を設けることは、少なくとも第1近似として、容認できよう。

すなわち、ある地点の浸水危険度は、浸水の可能到達時間(浸水が発生した場合の到達時間)に反比例する。そして、この浸水到達時間は浸水到達距離に比例し、初期水深に反比例する。

また、浸水は破堤を前提として生起するわけだから、上の浸水危険度は堤防の危険度に、近似的ではあるが、比例すると考えられる。

したがって、図2に示したような堤防に囲まれた堤内地の1地点Xにおける浸水危険度、 P_x は次のように定式化できる。

$$P_x = \int_0^{2\pi} A(\theta) \cdot \frac{h(\theta) - h_x}{l(\theta)} d\theta \quad (3)$$

ここに、 θ はXからみた堤防上の1点への方位角、 $A(\theta)$ は、その点における堤防の危険度、 $l(\theta)$ はその点までの距離、 $h(\theta)$ は外水位、 h_x はX地点における地盤高である。

3. 東部低地の浸水危険度

都内で(3)式による危険度表示を必要とする地域は、東部低地の地盤高がA.P.+2m(≒満潮位)以下の地域である。東京都(1974)が実施した危険度測定と同一の基準で浸水危険度を表示することにし、500mメッシュでこの地域をおおった。メッシュ数は総計357となった。

計算は、便宜的に(3)式を、次のように、東西南北に離散化して実施した。

表 1 危険度の頻度分布（堤防の危険度は一様）

$P_x (\times 10^{-4})$	メッシュ数	危険度区分
0<~ 50	151	1
50~100	101	2
100~150	58	3
150~200	20	4
200~300	18	
300~400	7	
400~	2	

$$P_x = \sum_{i=1}^4 A_i \cdot \frac{h_i - h_x}{l_i} \quad (3)'$$

その際、初期水位 h_i は A. P. +2m と固定し、地盤高 h_x にはメッシュ内最低地盤高が採用された。又、 l_i としてメッシュの重心から堤防までの距離が計られた。これらは資料（東京都土研，1981）を基にしている。

図 3 に $A_i=1$ すなわち、堤防の危険度を一様とした時の危険度分布を示した。計算された P_x と図化のための危険度区分の関係が表 1 に示されている。図 3 を一言で説明すれば、「川に近い程危険」ということになる。これは計算の前提から当然の結果ではあるが、荒川や中川ばかりでなく、とかく無視されがちな綾瀬川の他、新川や葛西用水の危険性があらわれていることに意義を見出すことができる。又、次に意味深い点は江東三角地帯にある。すなわち、地盤が低いにもかかわらず荒川沿いの他は、大横川沿いに若干危険度の高い地区があるにすぎないことである。これは、この地帯の東半部から外水を遮断する事業——いわゆる内部河川対策事業——の影響によるもので、浸水に対する安全性は、荒川堤防、および、水門、排水機場の安全性に強く依存しているといえる。

図 4 は、 A_i を表 2 のように定めた時、すなわち堤防の危険度を相対的に指定した時の危険度分布を示している。表の重みは資料（東京都低地防災対策委員会，1974）を参考に定めたものである。なお表 3 に計算された危険度と危険度分布を示してある。堤防の危険度を絶対的に知ることは、それが設置される地盤の性状、堤体材料、工法、新旧等さまざまな因子によって構成されるから、ほとんど不可能に近いと考えられる。又、十分客観性を有すると思われがちな相対評価も、実は採用した評価の重みの客観性を検証する方法はない。したがって、図 4 を固定的にとらえるのは間違いで、堤防の相対的危険度の差異が合理的に反映されるよう折にふれ修正を必要とする。

表 2 堤防の危険度

堤防	危険度
江東内部河川耐震堤防	1
荒川右岸堤防	2
その他の堤防	3

表 3 危険度の頻度分布（堤防の危険度を配慮）

$P_x (\times 10^{-4})$	メッシュ数	危険度区分
0<~100	134	1
100~200	97	2
200~300	48	3
300~400	32	
400~500	21	4
500~	25	

さて、以上を前提として図 4 を避難計画の観点からながめてみよう。

隅田川と荒川にはさまれた、いわゆる江東三角地帯の浸水危険度は、図 3 で述べたように、荒川堤防に依存するから、浸水のみを配慮する限り、避難は両方ないしは南方に向かう方がよい。現在、荒川近くに設定されている 3 カ所の避難場所（新砂 3 丁目、小松川、東砂 2 丁目）では、荒川破堤に伴なり急激な浸水に備えた対策が立案されていなければならない。他の避難場所では、急激な浸水の恐れは少ないものの、荒川の破堤による浸水は必然であるから、長期湛水に対する対応策が必要である。

現在の堤防強度を比較する限り、荒川堤防が破堤するような場合には、その東岸に流入する河川の堤防はことごとく破堤すると考えねばならない。その際、最も浸水危険度が高いのは、図の最南部である。ここは荒川および江戸川の他、新川および左近川の影響を受ける。この地域の南側埋立地に設置されている避難場所への経路が問題で、避難路の浸水に対する安全性が確保されなければならない。

荒川、中川、新中川および新川によって囲まれた地域では、北部に設定されている 2 カ所の避難場所（奥戸運動場、西新小岩）に浸水対策の必要なことは言うまでもない。また、環 7 通りを南方へ向かうと思われる避難は、新川南側地区の浸水によって停滞する恐れが強いから、新中川下流部沿岸に、新たに避難場所を確保しておくことが望ましい。

図の最北部、荒川と中川にはさまれた地帯の最大の問

題は綾瀬川合流部から南方に設定された新四ツ木橋地区避難場所であろう。荒川堤防の破堤の可能性が皆無でない限り、避難場所として公的に河川敷を設定することは疑問である。河川敷への行動が制限されるような場合、北方へ向かわなければならないこの地区の避難は、綾瀬川、葛西用水あるいは中川の破堤に影響され、極めて困難な状態が現出するものと予想される。

以上、図4から推察される避難の問題を列記したが、火災と同様浸水も、発現場所の相異によって出現する現象の様相は異なる。したがって、避難場所も考えられる最も安全な場所に設定すると同時に、そこへ到る経路を臨機応変に選択できるように、複数準備することが緊要であると考えられる。

4. むすびにかえて

以上に述べた通り、筆者等の意図は浸水危険度に避難緊急度が加味されることの必要性を強調することにあるが、これを支持する最近の展型的事例を以下に紹介する。

1982年9月12日台風18号の刺激りを受けて活性化した秋雨前線に起因する大雨(169mm/日)によって、都内の中小河川沿いや東部低地のいたる所で浸水害が発生した。この時、地下鉄丸ノ内線方南町一中野新橋間においてもトンネル内に、トンネル内最大水深約2m、総水量約4千 m^3 と見積もられる浸水があった。都内地下鉄のほとんどは、駅出入口等に止水版を用意し、万一に備えているが、たまたまこの沿線では線路に臨接する神田川に何の注意もはらわれていなかったことが浸水の主要な原因である。例えば、この前年1981年7月23日の雷雨によって有楽町線江戸川橋駅では同じ神田川の出水によって駅構内も浸水する程のとなったが、止水版によって浸水規模を小さく押さえることができた。

確かに止水版の効果は小さくないが、我々の関心はこのような止水版の用意の有無ではなく、主として事後処理に集約される対応策にある。通常、構築内面の漏水を排水するために、トンネル延長約750m平均に1ヶ所のポンプ場(1~2 $m^3/min \times 2$ 台)が設置され、これが非常時にも機能すると考えられている。しかし、前記丸ノ内線の浸水においては、冠水によりポンプが全く機能せず、しかも東京全体の地下鉄網からみれば、極めて局地的で、指揮系統の混乱もみられなかったにもかかわらず、

わずかに4千 m^3 の水を排水するのに18時間もの時間を要したのである。

この事実は、突発的に、しかも広域に渡って発生する地震と、それに続く浸水を想定した時、現出するであろう事態の深刻さを如実に示しているのではあるまいか？もち論、応旧対策の準備を不断に続ける必要はある。が、人命に関わる危険度を示す場合には、考えられる最悪の場合(応急策が講じられない場合)の避難余裕時間(浸水の場合には水が到達するまでの時間)が明らかになるようにしておかねばならないと考える。

先に示した、東部低地の浸水危険度の分布を示した図3、図4は、まさにこの発震直後の浸水危険度をあらわしている。不幸にして、ここでは浸水到達時間を絶対時間として知ることが不可能であったが、メッシュごとの浸水危険度を相対的に比較することは可能となった。これらの図が、広域避難地や避難経路の設定に生かされることを望む。

文 献 一 覧

有賀世治

1978 「地震水害」『東京都における地震被害の想定に関する報告書』東京都防災会議 pp. 382~425。

新井邦夫・丸井信雄

1978 「大地震後に想定される地下鉄トンネルの浸水—東京江東区の場合—」『総合都市研究』No. 5, pp. 133~144。

東京都

1974 『地震に関する地域危険度測定調査報告』東京都防災会議。

東京都低地防災対策委員会

1978 『東京の東部低地帯における河川の防災対策についての答申』

東京都土木研究所

1981 「荒川流域・地盤高図」都土研資料 51-2

丸井信雄・安川 浩・宇井正和・新井邦夫

1978 「東京における地震水害」、『総合都市研究』No. 2, pp. 93~101。

丸井信雄・安川 浩・宇井正和

1980 「破堤によってはらんする水流の挙動について」、『総合都市研究』No. 11, pp. 95~102。

THE FLOOD RISK OF THE EASTERN LOWLAND IN TOKYO

Kunio Arai and Nobuo Marui

Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

Comprehensive Urban Studies, No. 17, 1982, pp. 23-29

This report is an attempt to divide the Eastern Lowland of Tokyo into five areas by means of the flood riskiness.

The flood riskiness was estimated from the riskiness of levees against a heavy earthquake and the propagation time of inundating water from destructed points of levees to a concerned point and therefore it means the relative urgent degree of refuge from flood.

The conclusion indicates that the east side of the lowland, or the area between Ara River and Naka Rivers, is more dangerous than the west part, or the Koto Region.