

内水氾濫時における小規模地下空間の 浸水危険度について

INUNDATION RISK OF BASEMENTS BY FLOODING DUE TO TORRENTIAL RAIN IN URBAN AREA

井上知美^{1*}・尾崎平²・石垣泰輔³・戸田圭一⁴

In recent years, torrential rains have been observed frequently and urban areas were inundated because the rainfall intensity exceeded the magnitude of design criteria. Such rain-water flooded on the roads and the some portion intruded into underground spaces. Basements of building are prone to inundation and these spaces are filled with flooded water in a short time. In this paper, inundation risk of basements by pluvial flooding is investigated on the bases of the calculation results by InfoWorks CS in the fully urbanized area. From the result, it is concluded that the evacuation from basements of small floorage buildings should be in a few minutes for lifesaving.

Key Words : *pluvial flooding, basement, inundation risk, decision time of evacuation*

1. はじめに

近年都市部では，地表面がコンクリートやアスファルトで覆われることにより浸透，遊水機能が低下している．さらに地球温暖化による影響で短時間集中豪雨が増加し，内水氾濫が生じやすくなっている．一方で土地を有効利用するために，地下空間も増加している．このような要因から，福岡(1999,2003)，東京(1999)，名古屋(2000)などの大都市で水害が発生している．このような水害では地表面に溢れた雨水が都市の地下空間へと流れ込み，甚大な被害が発生し，人命が失われたケースもある．

戸田ら¹⁾は縮尺 1/15 の小規模地下空間模型を用いて浸水実験を行っている．15m 四方の小規模なビルの地下階を想定した検討である．彼らは，浸水実験

を行うと共に数値解析モデルの検証，避難可能性の検討も行っている．ポンドモデルで検証した結果，地点によってモデルの優劣があり浸水先端の広がりについて実験とずれが見られている．また避難は平面部の避難限界水深を①子供，0.20m～②成人女性，0.50m～③成人男性 0.70m～が歩行困難になるとし，階段部の避難限界は越流水深が 0.30m，部屋からドアを開けることのできる避難限界水深を 0.40m としている．この研究により小規模地下空間では急激に水深が上昇することが確認され，ドアや階段の避難限界が地下空間からの避難可能性に影響を与えることが分かっている．

石垣ら²⁾は実物大模型を用いて避難に関する検討

キーワード：内水氾濫 小規模地下空間 浸水危険度 意思決定時間

¹⁾学生会員 関西大学大学院(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

E-mail:k339873@kansai-u.ac.jp

²⁾正会員 関西大学環境都市工学部助教(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

³⁾正会員 関西大学環境都市工学部教授(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

⁴⁾正会員 京都大学防災研究所教授(〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

を行っている。高さ 3m, 幅 1m, 20 段の実物大階段において、氾濫水が階段を通じて地下空間へ流入したという想定で実験を行っている。地上水深の増加に伴い避難時間が増加し、階段からの避難が困難になる地上の水深は 0.3m であるという結果が得られている。小規模な地下空間から、地下室のドアを開けて避難する場合を想定した実験も行っており、成人男性の場合、立体では体重の約 74%の力が発揮できるという目安を得ている。成人女性、子供も同じ比率で力が発揮できると仮定し避難限界の目安を算定すると、成人男性(65 kg)で 41～43 cm, 成人女性(50 kg)で 35～38 cm, 児童(10 歳 35 kg)で 29～31 cmが上限値であると判断されている。

中畑ら³⁾は可搬式ドア模型を用いて浸水時避難体験実験を行っている。この実験では事前に、被験者に開けることができると思うドア前最大水深を予想してもらい、避難可能かを調べている。その結果、男性はドア前水深が高くなるにつれて開扉成功率が下がっている傾向が見られる。女性の場合、ドア前水深 0.30m では 8 割以上の人が回避成功しているにもかかわらず、0.40m を超えると急激に開扉成功率が下がっている。これらのことより、男性、女性ともにドア前水深 0.30m では 8 割以上の人が開扉成功している。

本研究では下水道を考慮した解析を行なった上で地下空間への流入量を求め、危険になりやすいと考えられる小規模な地下空間からの避難について考察を行なった。

2. 対象地域

本研究では様々な地下空間の存在する図-1 に示す地域を対象とする。この地域の下水処理区を図-1 の枠で示す。この処理区の雨水排水能力は 1 時間あたり 60 mmの降雨まで対応可能である。地盤高と道路網を図-2 に示す。東側が高く西側が低いことがわかる。また、対象とする地下空間の存在する場所を図-1 に丸で示す。対象地区は西日本において最大の地下街を有するとともに複数の地下駅、多くの地下空間が存在する地域である。

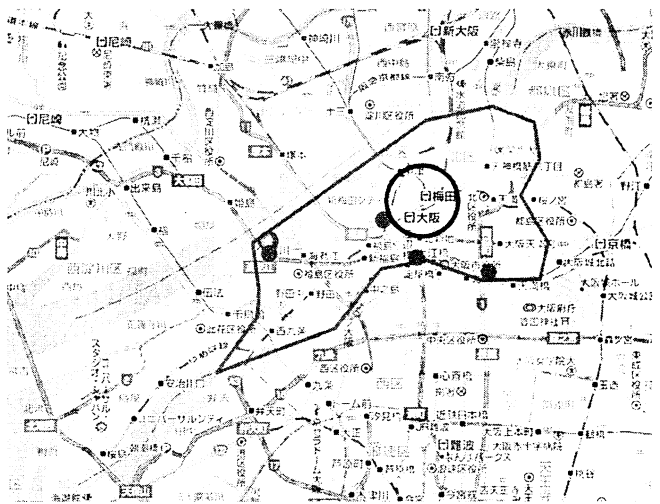


図-1 対象地域



図-2 地上の地盤高

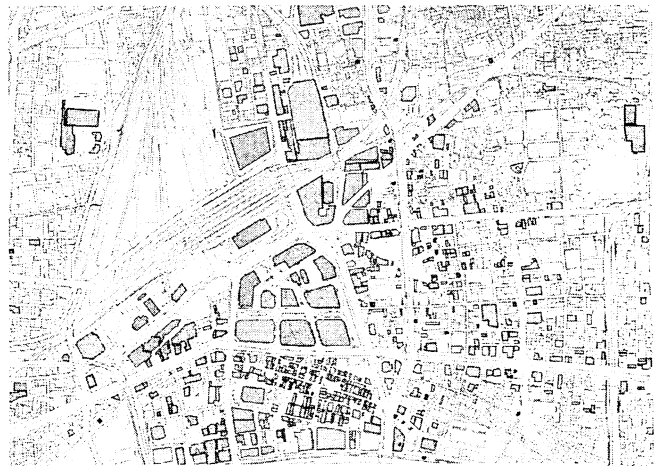


図-3 対象地域に存在する地階を有する建物

表-1 対象地域に存在する建物の地階の床面積と建物

床面積(m ²)	建物数(棟)	
～1,000	637	87%
1,000～5,000	80	11%
5,000～	15	2%

対象地域の地階を有する建物の規模と位置の確認を GIS ソフトウェアの 1 つである SIS を用いて行った。その結果を図-3 に示す。図-1 の丸の地域に図-3 に塗られている 732 の地階を有する建物が存在しており、北側と中央部分には面積の広い建物、東側と南側には面積の狭い建物が多い傾向が見られ、面積は様々である。これらの建物の地階を床面積で分類すると表-1 のようになる。これより、この地域の地階はほとんどが 1,000 m²以下の小規模であることが分かる。

3. 浸水危険度の評価方法

浸水危険度の評価を以下の方法で行った。

- ① ドア前に湛水することにより開扉不可能となる避難限界流入量を求める
- ② 路上で溢水し、地階に流入する流量を段落ち公式から求める
- ③ ①に達する時間を②を用いて求める
- ④ 避難行動開始時間と③を比較する

以上の評価で用いる諸量を以下の方法で求めた。

(1) 避難限界流入量

避難限界流入量は以下の式で求めた。

(避難限界流入量)

$$= (\text{床面積}) \times (\text{廊下占有率}) \times (\text{避難が困難となるドア前水深}) \quad (1a)$$

床面積は現地調査より得られた対象とする地下空間の面積、廊下占有率は一般的な床面積に対する廊下の割合である表-2 の値⁴⁾、既往の研究より男性、女性ともに 8 割以上が開扉可能であったドア前水深 0.30m³を用いる。廊下占有率は中規模以上の建物では、25%~50%であるが、この地域で多数を占める小規模な建物は 10%と非常に狭い。

(2) 地階への流入量

段落ち公式として以下の式を用いた。

$$\begin{aligned} Q &= qB \\ q &= \mu g^{1/2} h^{3/2} = 1.703 h^{3/2} \text{より} \\ Q &= 1.703 B h^{3/2} (\text{m}^3/\text{s}) \\ h &= h_1 - h_2 \end{aligned} \quad (2a)$$

表-2 床面積と廊下占有率

床面積(m ²)	廊下占有率(%)
~1,000	10
1,000~3,000	25
3,000~	50

表-3 現地調査の結果

床面積(m ²)	~1,000	1,000~3,000	3,000~5,000	5,000~
高さ(cm)	15	15	15	15
幅(cm)	90	180	180	180
出入口数(ヶ所)	1	1	2	3

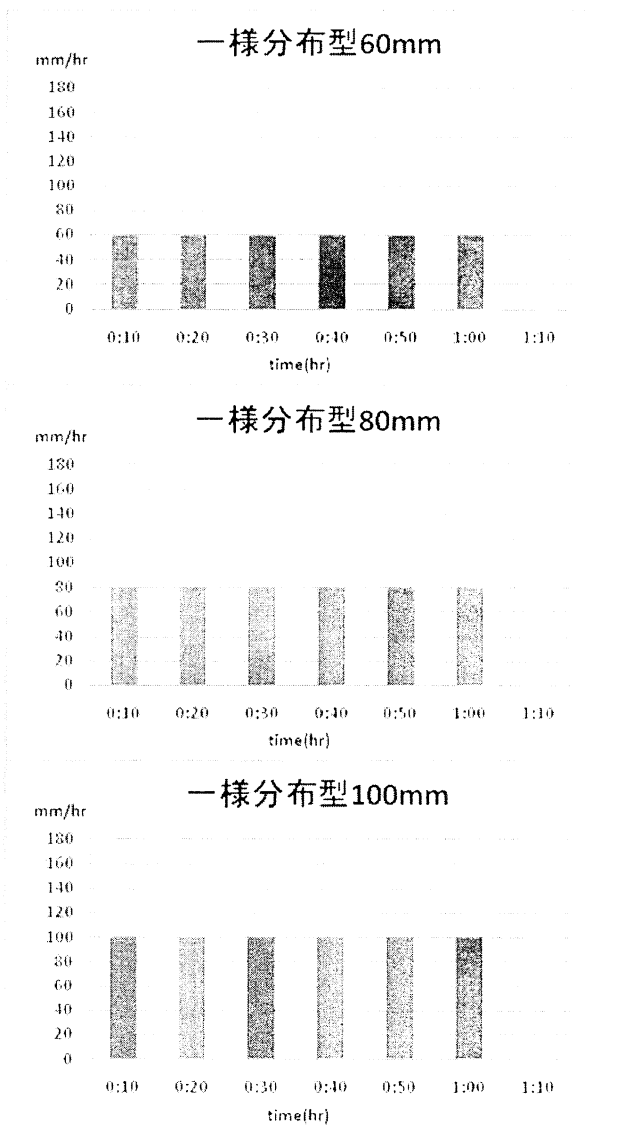


図-4 対象降雨

T=00:20



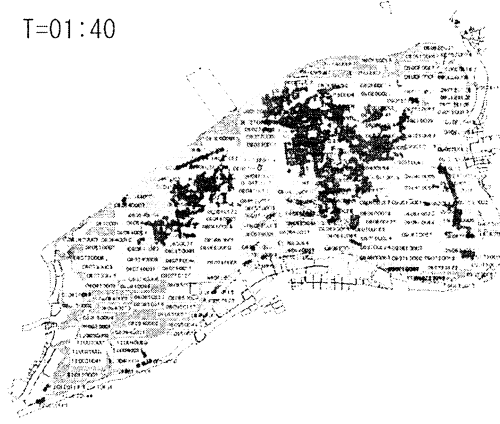
T=02:40



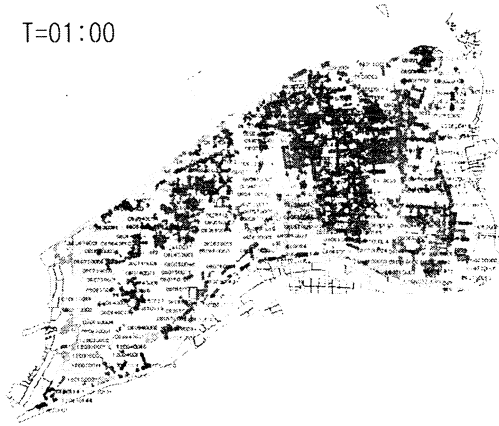
T=00:40



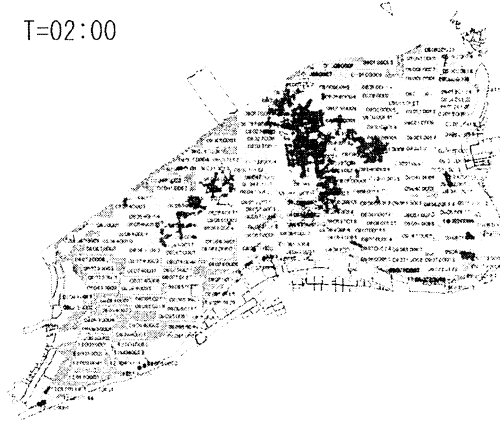
T=01:40



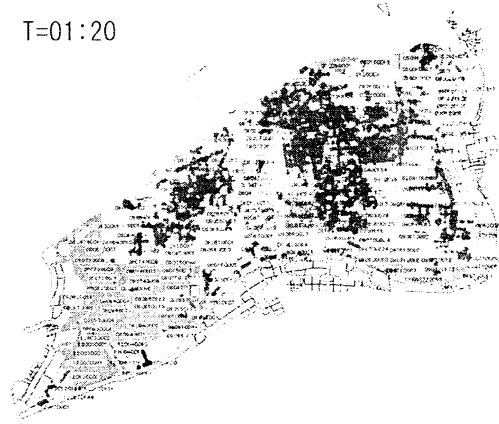
T=01:00



T=02:00



T=01:20



T=02:20



溢水あり



溢水なし

図-5 対象地域地上の溢水状況

ここに、 B ：地下空間への入り口幅、 μ :0.544、 h_2 ：道路からのマウンドアップ高さ、 h_1 ：道路上の浸水深である。 B と h_2 は現地調査を行なった結果より、表-3のように決定した。道路からのマウンドアップ高さは地下空間の規模に関わらず一定としたが、幅と出入口数は地下空間の規模に応じて増加させた。

(3) 道路上の浸水深

h_1 は InfoworksCS を用いて計算した結果を用いた。InfoworksCS とは下水管路網を考慮した解析ソフトであり、設定した降雨を対象として下水道による排水を考慮した解析が可能である。本研究では対象地域の雨水排水能力である1時間あたり60mmを上回る降水量を設定した。図-4に示した一様分布型1時間あたり60mm、80mm、100mmの降雨を対象として計算を行った。一例として100mm/hの結果を図-5に示す。図-5に塗られているのは、溢水があるマンホールである。図-5から、マンホールからの溢水は降雨開始から約40分後に始まり1時間を超えると顕著になる。図-1の丸で囲まれた、対象とする地下空間の存在する地域においては、50%ほどのエリアで溢水している。また、溢水している時間も降雨開始から1時間前後に始まり2時間40分まで長時間にわたり溢水しており、危険な地域であることがわかる。

(4) 避難行動開始時間

避難行動開始時間は、異変認知時間と意思決定時間の和で表される。意思決定時間は建物の床面積で異なり、以下の式⁵⁾で計算される。

$$t = \frac{\sqrt{A}}{30} + 3 \quad (\text{min}) \quad (3a)$$

t ：意思決定時間、 A ：地下空間の床面積である。異変認知時間は、地下空間内部の人が浸水に気づくまでの時間であるので、各人によって異なるが、ここでは小規模地下空間であるため、浸水開始後即座に異変が認知されるとして異変認知時間を0秒とした。

以上の(1a)～(3a)の式を用いて、地階を有する建物への流入量と避難行動開始時間の関係を用いて考察を行う。



図-6 100mm/hr 降雨時の1.5時間後の地上の浸水状況



図-7 100mm/hr 降雨時の避難限界流入量に達した建物

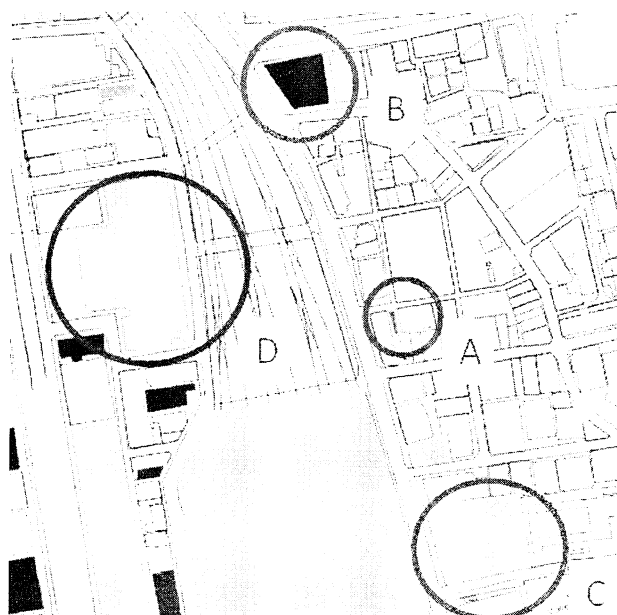


図-8 地階が浸水した建物(拡大図)

4. 検討結果

図-6 は一様分布型 100 mm/h 降雨の際の対象地域の地上の浸水状況を示している。図は降雨開始から 1.5 時間後の浸水深であり、丸で囲まれた箇所の浸水深は深く、この地域で一番危険である。

図-7 は 100 mm/h の降雨において避難限界流入量に達した建物の分布である。避難限界流入量に達した建物は鉄道の北側で多いことが分かる。北側の地区で危険になりやすいことから丸で囲まれた地区について詳しく考察を行う。

図-8 は図-7 の丸で囲まれた地区の拡大図である。地下空間へ雨水が流入し始めてから避難限界流入量に達するまでの時間と避難行動開始時間を表-4 に示す。避難が成功するには、避難限界流入量に達するまでに避難行動を開始、終了していなければならない。しかし床面積の小さい建物 A では、避難行動を開始する前に避難限界流入量に達する時間になっている。また地下空間 B や地下空間 C では避難限界流入量に達するまでに避難を開始しているが約 3 分間しか余裕がなく、安全に達するための避難は不可能である。また、建物 D は建物 A と比較すると安全であると考えられるが、10 分以上余裕はあるものの、床面積が大きく、避難に要する時間が長くなるため、早期の避難開始が重要であることは言うまでもない。

5. まとめ

床面積の小さな地階を有する建物は避難限界流入量に達するまでの時間が短く、地階から避難できない可能性がある。そのため、地階へ雨水が流入するのを防ぎ、遅らせることが必要である。また、小規模地下空間では、浸水開始直後に異変を認知する、意

表-4 床面積に対応する避難限界流入量に達するまでの時間と意思決定時間

建物	床面積(m ²)	避難限界流入量に達するまでの時間(min)	意思決定時間(分)
A	38.8	2	3.2
B	613.2	6	3.8
C	1345.3	7	4.2
D	3167.5	17	4.9

思決定時間を短縮、そして浸水前にその危険性を伝え、早い段階からの避難を開始しなければならない。考えられる対策として、以下のような方策がある。

- 1) ビル管理者が地下空間内部の人へ危険を素早く伝える
- 2) 行政側がビル管理者と連携をとる
- 3) 浸水を検知するセンサーを設ける
- 4) マウンドアップを上げて浸水を遅らせる

参考文献

- 1) 戸田圭一・山本大介・米山望・間島真嗣：小規模地下空間の浸水時の危険性について：地下空間シンポジウム論文・報告集第 12 巻，pp.139-146，2007.
- 2) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川一：実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検討：水工学論文集第 50 巻，pp.583-588，2006.
- 3) 中畑佳城・石垣泰輔・島田広昭・戸田圭一：可搬式ドア模型による浸水時避難体験実験と参加者の水防意識について：水工学論文集第 54 巻，pp.913-918，2010.
- 4) 山本智雄：建築設計講座「オフィスビル」，pp.11，1976.
- 5) 財団法人 日本建築防災協会：地下空間における浸水対策ガイドライン，G17，2002