

避難からみた小規模地下空間の 浸水時の危険性

RISK ON INUNDATION IN SMALL UNDERGROUND SPACE CONSIDERING EVACUATION DIFFICULTY

戸田 圭一^{1*}・山本 大介²

Keiichi TODA^{1*}, Daisuke YAMAMOTO²

In the central district of large cities, a number of buildings stand close together on the land surface, under which underground space is developed. If this area is attacked by heavy rainfall or overflow from the river, the inundation would occur and consequently, the flow would extend to underground space, causing serious damage. If things come to the worst, people may be drowned to death there. Here, we study the risk on inundation in small underground space based on the inundation simulation and simple evacuation analysis with evacuation criteria at corridor and staircase. As a result, we confirmed the difficulty of evacuation from underground by heavy rainfall for a short time.

Key Words : underground inundation, inundation analysis, evacuation, office building, staircase

1. はじめに

極端気象の影響で豪雨の発生頻度が高まっている中、洪水氾濫時に都市部では地下浸水の発生が懸念される。その際には、地下街や地下鉄といった大規模スケールの地下空間に比べて、地下室やオフィスの地下といった小・中規模の地下空間の方が、水深の急激な増加や避難経路の少なさから、人的被害の危険性は高いと考えられる。実際、地下浸水で死亡事故が発生した場所は、1999年の福岡水害でも2003年韓国・馬山の高潮氾濫でもビルの地下であった。地下街や地下鉄駅での浸水時の避難解析は、先行研究¹⁾²⁾がいくつかあるが、ここではオフィスの2層構造の地下空間を対象に、短時間豪雨による浸水解析とリンクした簡易な避難行動解析を実施し、避難の難しさからみた浸水時の危険性を再検討する。

2. 対象とした地下空間と浸水解析の概要

解析の対象とした小規模ビルの地下空間は、地下2階建てで、合計の床面積が941m²である(図-1参照)³⁾。地下1階は中央部が通路となっており、その両側に飲食

店のスペースが連なっている。地下2階は駐車場、ポンプ室、機械室などで構成される。駐車場へ車はリフトで移動し、リフトからの水の流入は考えない。地上から地下1階へ通じる階段は2箇所(合計幅2.48m)あり、これらが地下1階への氾濫水の流入口となる。地下1階から2階へ通じる階段は1箇所(幅1.14m)である。

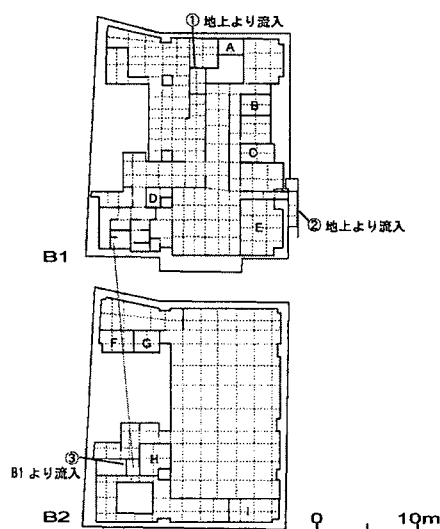


図-1 対象とした地下空間の平面図

キーワード：地下浸水、浸水解析、避難、オフィスビル、階段

¹正会員 京都大学防災研究所教授 Professor, DPRI, Kyoto University, (E-mail:toda.keiichi.4z@kyoto-u.ac.jp)

²正会員 西日本高速道路株式会社 West Nippon Expressway Company Limited

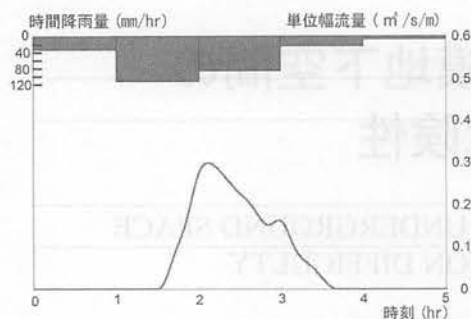


図-2 単位幅流入流量

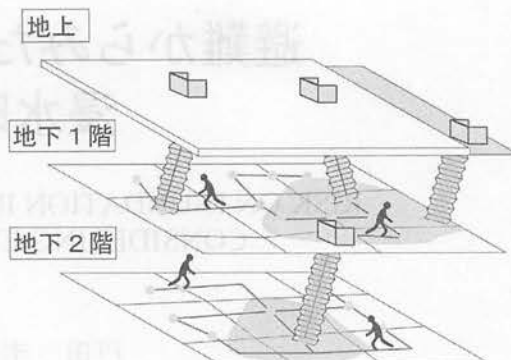


図-4 避難行動モデル

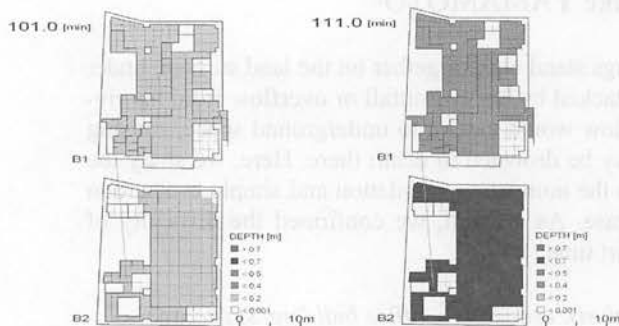


図-3 地下浸水解析結果の一例

地下空間内の浸水解析にはボンドモデルを用い、図-2の上部に示す短時間の雨によって図-2の下部に示す単位幅流量が地上から地下1階へ流入するとした。この条件は、2005年の東京都神田川流域での短時間の大雨（3時間の総降雨量220mm以上）が神戸の三宮地域に降ったと仮定したときの、三宮地下街入口から流入する最大単位幅流量である³⁾。なお、解析での基準時刻は降雨が始まった時刻としている。

地下浸水解析の結果の例（時刻101minと時刻111min）を図-3に示す。わずか10分間で急激に水深が上昇し、時刻111minでは地下2階の水深は0.5mを超えている。

3. 避難行動解析

(1) 避難行動モデル

地下空間に位置する人の初期位置に応じてあらかじめ地上までの避難経路を決めておき、浸水過程で、その経路上を人が移動する計算を行い、避難の成否や避難に要する時間について検討を行った。避難困難となる水深は、人の属性を考慮した。モデルの概念図を図-4に示す。

図-5のような、ノードとリンクから構成される避難経路ネットワークを作成し、地下2階のA点、B点、地下1

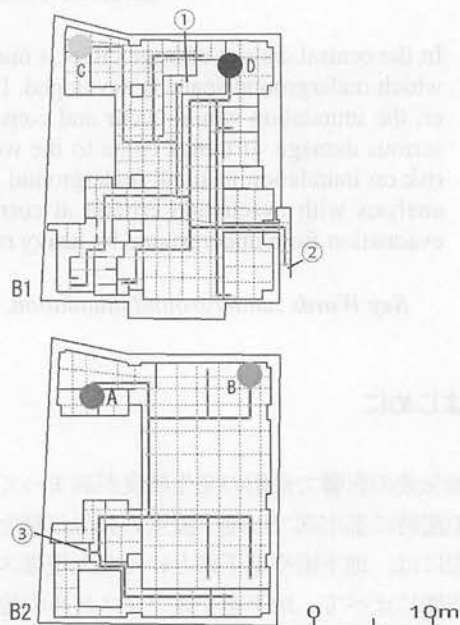


図-5 避難経路ネットワーク

階のC点、D点に人を配置した。4地点にいる人（属性は同じ）が、ある浸水深に達したときに、身の危険を感じて即座に自主的に避難を開始するとした。

地上入口までの避難経路はあらかじめ避難者が認識しているものとし、避難途中で避難困難な水深に遭遇すると、その地点で避難失敗と判定した。避難困難となる水深は、従来からの知見を参考として、平面部の水深については、子供・高齢者で0.2m、成人女性で0.5m、成人男性で0.7mになれば避難困難としている⁴⁾。また階段部では、階段の上層の水深が、子供・高齢者で0.2m、成人女性で0.25m、成人男性で0.3mになれば避難困難としている⁵⁾（図-6参照）。平常時の平面部を避難する速度を1.0m/s、階段部のそれを0.5m/sとし、浸水時の避難速度の低減率 w は、浸水深（階段は上層の水深） h より、

$$w(h)=h/h_0(h<h_0) \quad (1)$$

とした。ここに h_0 は避難が困難となる水深である。なお今回の避難速度については、簡単のため、人の属性による違いは考慮していない。

(2) 解析結果

避難を開始する水深は、0.00m、0.01m、0.05m、そして、この後0.05m刻みで最大0.45mまでの計11ケースとした。解析例として、浸水深が0.15m、0.30mに達してから避難を開始した結果を図-7、図-8にそれぞれ示す。

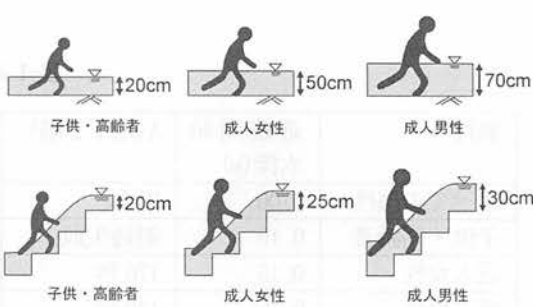


図-6 避難困難となる水深



図-7 浸水状況ならびに避難状況（浸水深0.15mで避難開始）

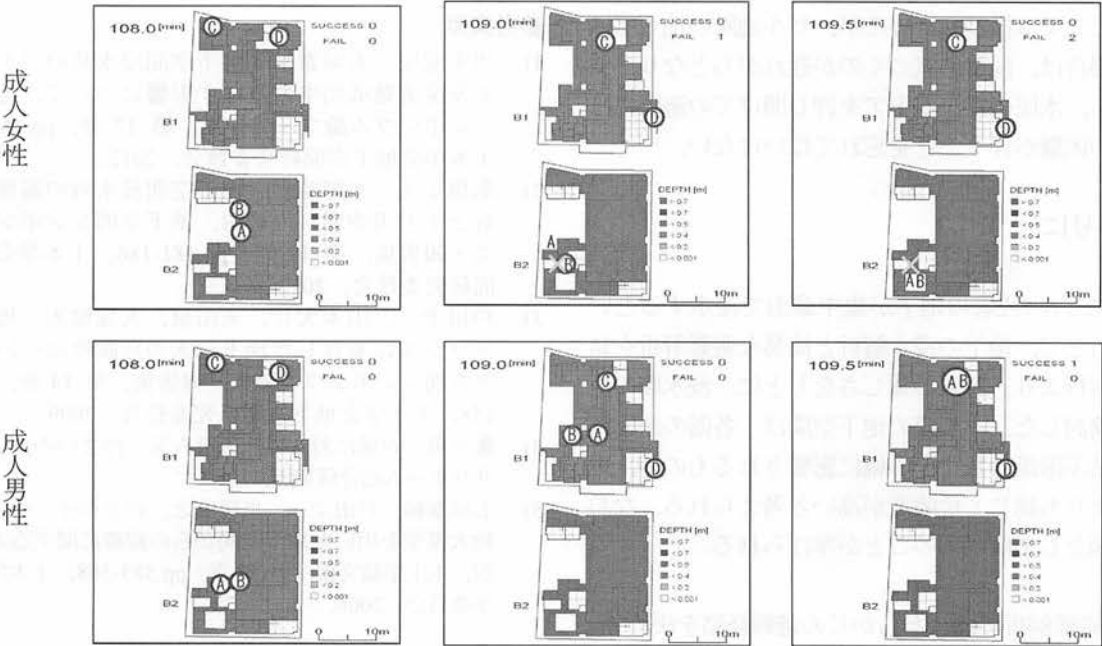


図-8 浸水状況ならびに避難状況（浸水深0.30mで避難開始）

表-1 避難の成否と成功時の避難所要時間

属性	避難開始水深(m)	A(地下2階)	B(地下2階)	C(地下1階)	D(地下1階)
すべての属性	0.00	93 秒	97 秒	40 秒	42 秒
子供・高齢者	0.15	避難失敗	避難失敗	避難失敗	避難失敗
成人女性	0.15	176 秒	183 秒	69 秒	72 秒
成人男性	0.15	140 秒	145 秒	59 秒	62 秒
子供・高齢者	0.30	避難失敗	避難失敗	避難失敗	避難失敗
成人女性	0.30	避難失敗	避難失敗	139 秒	148 秒
成人男性	0.30	170 秒	178 秒	88 秒	92 秒

図には、各時刻の地下空間内の浸水状況もあわせて示している。また表-1には、避難の成否と成功時の避難所要時間をまとめて示している。

浸水深0.15mで避難を開始した場合、子供・高齢者の避難が困難となる。これは平面部での避難が厳しくなるためであり、小規模地下空間では子供・高齢者の場合、浸水が始まってからの避難では手遅れになる危険性が高いことを示唆している。一方、成人の場合には、地下1階、地下2階でも避難可能である。

次に、浸水深0.30mで避難を開始した場合、子供・高齢者はその時点でその場から動けず避難失敗となる。成人男性は時間を要しながらも何とか避難できるものの、成人女性は、地下1階と地下2階を結ぶ階段がネック箇所となり、地下2階にいと避難できない結果となった。多層の地下空間では各階をつなぐ階段部での避難の成否がきわめて重要となる。

なお、ここでは扱わなかったが、ビル地階の地下室に人がいる場合は、浸水に気づくのが遅れがちとなり、気づいた後も、水圧のかかるドアを押し開けての避難にはいっそうの困難が伴うことを忘れてはいけない。

4. おわりに

オフィスビルの2層の地下が集中豪雨で浸水するという条件のもとで、地下の浸水解析と簡易な避難解析を結びつけた解析より、避難の難しさをもとに、浸水時の危険性を再検討した。小規模の地下空間は、各階の床面積や各階を結ぶ階段の数やその幅に影響されるものの、地下街などよりも総じて危険度が高いと考えられる。なお今後の課題としては以下のことが挙げられる。

(1) 今回の避難解析では、あらかじめ避難経路を決めて

いるものの、浸水状況によって避難経路を変更することは、実際には当然ありえる。その行動をモデルに反映させる必要がある。また避難速度を人の属性によらず一定としているが、属性の影響も考慮する必要がある。

(2) 今回対象としたオフィスビルの地下は、街中でよく見られるタイプのものとは言え、浸水ならびに避難の困難さは地下空間の形状に大きく依存する。空間スケールは同程度ながら形状の異なる地下空間で同様の解析をいくつか試みることが重要である。

(3) 避難経路を増やした場合や、地下入口に段差を設けた場合について同様の解析を実施し、これらの対策がどの程度、安全な避難に効果を発揮するか、検討する必要がある。

参考文献

- 川中龍児，石垣泰輔：地下空間浸水時のアナウンスが安全避難成功率に及ぼす影響について，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 17 巻，pp.163-168，土木学会地下空間研究委員会，2012.
- 関根正人，大野龍馬：地下空間浸水時の避難行動解析とその実空間への適用，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 17 巻，pp.181-186，土木学会地下空間研究委員会，2012.
- 戸田圭一，山本大介，米山望，大塚健太：地下空間スケールに着目した地下浸水の危険性について，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 14 巻，pp.153-158，土木学会地下空間研究委員会，2009.
- 亀井勇：台風に対して，天災人災 住まいの文化誌，ミサワホーム総合研究所，1984.
- 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，土木学会水工学委員会，2006.