

京都大学大学院工学研究科 学 生 員 ○中井 勉
 京都大学防災研究所 フェロー 井上和也
 京都大学防災研究所 正 会 員 戸田圭一
 京 都 大 学 工 学 部 学 生 員 竹村典久

1. はじめに 福岡水害(1999年)や東海水害(2000年)に見られるように、都市域での洪水氾濫は地下空間への浸水という危険性を有しており、地下空間における氾濫水の挙動を知ることは防災面から非常に重要である。本研究では水理実験により地下空間の浸水特性を明らかにするとともに、得られた実験結果から数値解析手法の検証を行う。さらに階段部での水深や流速の測定結果から、地下空間浸水危険性とくに避難可能性を考察する。

2. 浸水実験 対象とした御池地下空間は図1に示すような3層構造で、鴨川に接する東端から西方向へ650mにわたっている。図1に示されるように地下1階と2階は西側の2箇所、地下1階と3階は東側の1箇所それぞれ接続されている。また地下1,2階では西半分が東半分より床面が1.5m高くなっている。模型はアクリル製で縮尺1/30とし、観測や測定のため、天井は設けず地下2階を側方へずらしている(写真1)。

別途行われた京都市市街地模型実験の結果(鴨川が御池大橋で $100\text{m}^3/\text{s}$ 溢水するとし、そのうち $30\text{m}^3/\text{s}$ が地下に流入するという結果)を流入条件(図2、表1)とし、このときの地下空間における浸水状況を図3に示す。流入開始から30分後には地下3階の地下鉄プラットホームで水深が2mを超え、60分後では浸水域は地下1,2階を含めた御池地下街全体に広がっている。このような急速な浸水の進行は地下空間の浸水危険性を如実に示している。

3. 解析手法の検証 実験結果を用いて、貯留槽モデルによる数値解析手法¹⁾を検証する。このモデルは、①地下空間を地盤高や階層によって小領域に分割し、各小領域を貯留槽とみなす、②地下空間をこれらの貯留槽が連結された空間とする、③貯留槽間の流量の算定には、移流項を省略した非定常流式を適用する、という方法である。

図2に×印で示される地下1階東中央(A)、地下2階東中央(B)、地下3階(C)での水深の時間変化を、実験結果と比較したのが図4である。その結果、ここでの貯留槽モデルにより、B地点での立ち上がりの部

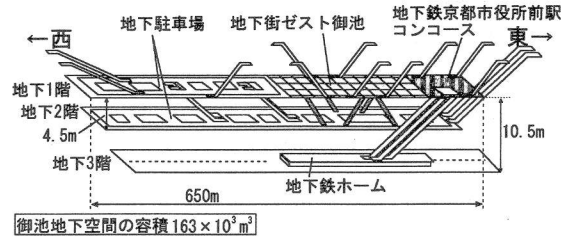


図1 御池地下空間の概要

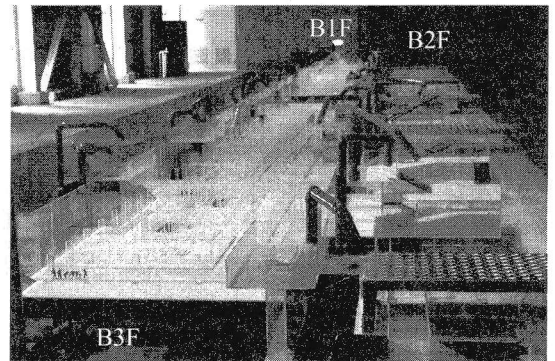


写真1 御池地下空間模型

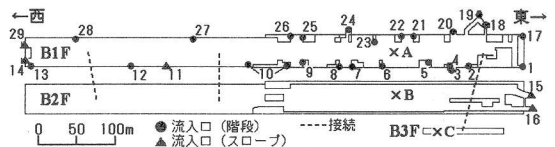


図2 御池地下空間の流入口

表1 流入条件(実物値)

流入口番号	流入開始時間	流入流量 [m^3/s]
1	0	1.58
15+16	6分18秒	14.08
3	10分0秒	1.32
5	10分14秒	2.13
4	10分30秒	1.88
2	10分47秒	2.63
18+19	11分25秒	0.38
6	11分5秒	1.31
17	12分42秒	2.00
7	14分09秒	1.08
9	23分06秒	1.10
10	24分01秒	0.54
8	24分28秒	0.94
11	27分18秒	0.67

分を除いて実験結果をよく再現されており、地下空間における浸水の挙動を解析に適用できることが確かめられた。

4. 避難可能性の検討 浸水時の避難経路となる階段部での流速と水深を、流入流量を変化させて測定した。流入流量は地上の水深を設定し、流入口の開口幅に応じて段落ち式より算定した。地上浸水深0.5m 相当の流入流量（単位幅流入流量 $0.6\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ）を与えた結果が図5である。階段歩行実験²⁾で、 $u^2h > 1.5(\text{m}^3/\text{s}^2)$ の領域では歩行が困難になるとされている結果を用いると、本実験の結果から階段では地上浸水深が0.5mを超えると避難困難となることがわかる。

次に2.の条件における御池地下空間の避難可能性を見たのが図6である。×印は上記の結果からみた歩行困難な階段を示しており、また、「平面部では水深が0.2mを超えると子供が、0.5m以上では成人女性がそれぞれ歩行困難になる」³⁾という結果を併せて示している。流入開始15分後には6箇所の階段が歩行困難となっており、地上への避難が難しくなっている。地下2階では水深が0.5mを超え、すでに避難困難である。20分後では地下1階東側全域の水深が0.5mを超えるとともに、地下3階ホームから地下1階への階段も通行が難しくなるなど、浸水が始まれば急速に非常に危険な状況に陥る結果となった。

5. おわりに 地下空間の浸水実験より、地下空間での浸水域の拡大や水深の上昇が速いこと、地上浸水深が0.5mを超えると階段の歩行が困難であることなど、地下空間の浸水危険性が明らかになった。また、実験結果との比較検証により、貯留槽による解析モデルの適用性が示された。今後の課題として、地下空間の浸水時の避難行動解析などが挙げられる。謝辞：本研究を進めるにあたり御池地下街の資料を御提供下さいました京都市関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献：1)戸田・栗山・大八木・井上：複雑な地下空間における浸水解析，水工学論文集第47巻，pp.877-882，2003 /2)武富・館・水草・吉谷：地下空間へ流入する氾濫水が階段上歩行者に与える危険性に関する実験，土木学会年次学術講演会講演概要集第2部56巻，pp.244-245，2001 /3)地下空間における浸水対策検討委員会：地下空間における浸水対策ガイドライン 同解説＜技術資料＞，pp.G-11，2002

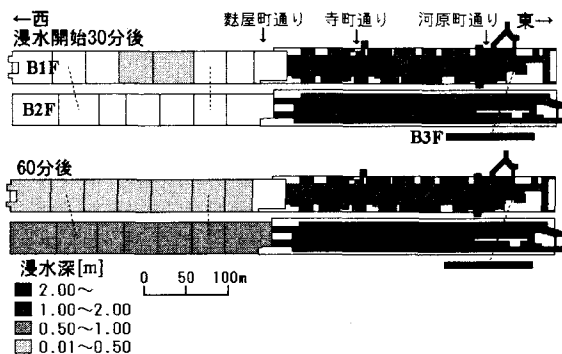


図3 浸水深の時間変化（実物値）

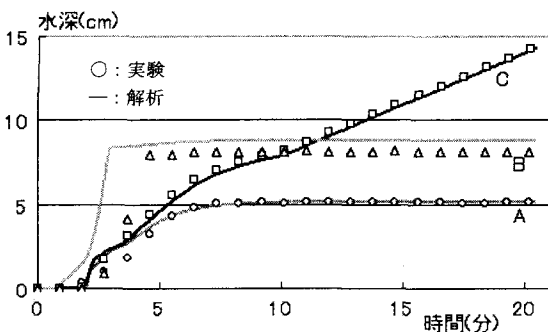


図4 実験と解析の比較（模型値）

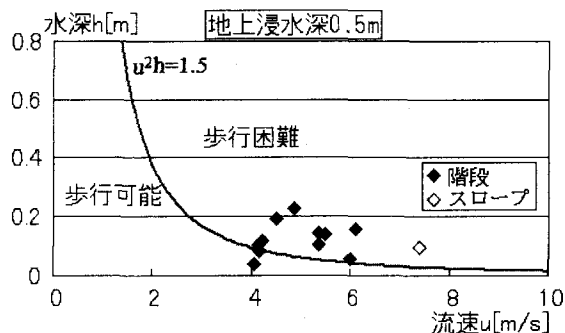


図5 階段部の避難可能性（実物値）

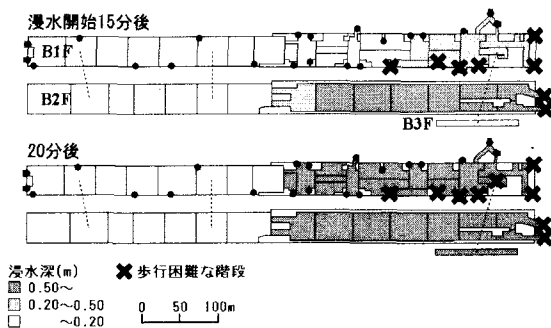


図6 御池地下空間の避難可能性（実物値）