

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

国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 武富一秀
 国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 館健一郎
 国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 水草浩一
 独立行政法人土木研究所 正会員 吉谷純一

1. はじめに

近年、突発的な集中豪雨や内水氾濫が頻発している。また、都市部では都市化による地下空間の高度利用が行われており、地下街やビルの地下室等の地下空間への浸水危険性は高い。しかしながら、地下浸水の対策は、一部の地下鉄等を除き、ほとんどとられていないのが現状である¹⁾。地下水害の防止には、浸水対策の実施や地下施設の洪水危険性の理解が不可欠であり、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を把握する必要がある。

地下施設の危険性については、水没危険性（地下施設への氾濫水流入による地下空間の水没の危険性）、避難時の危険性（階段を通じて流入してくる氾濫水に抗して地上に避難できるか）等が考えられる。本報告では、避難時の危険性を把握するために行った実験について紹介する。

2. 実験目的および実験概要

本検討では、(1) 1/3 縮尺の階段模型を用いた氾濫水の流況把握および(2) 実物大模型を用いた階段上歩行実験を行った。

(1) 1/3 縮尺の階段模型を用いた氾濫水の流況把握では、縮尺 1/3 の地下空間の出入口（地上と地下を繋ぐ階段部分）の模型を実験水路に設置し、それを用いて地下施設へ流入する氾濫水の流況・流速等について観測し、階段上の流れの把握を行った。(2) 実物大模型を用いた階段上歩行実験では、実物大の階段模型を用いて、実際に水が流下している階段を人が上れるかどうかについて検討した。

3. 実験内容および実験結果

(1) 階段模型を用いた氾濫水の流況把握

実験に用いた階段模型（木製）は、階段部分と地上アプローチ部分からなり、段数は 17 段、階段横幅は 1.00m とした。一般的な階段の値を参考に、蹴上（一段の高さ）は、0.06m、踏み面（一段の奥行き）は、0.09m とした。また、地下空間の出入口にステップ（高さ 0.18m、奥行き 0.90m）を設けた（図-1）。模型縮尺を考慮する際にはフルードの相似則を適用した。なお、以後、実験に関する数値は、全て実物値を示す。

水路内に設置された模型に水を流し、階段の直下および各階段の踏み面、上流部アプローチ部分での流速と水深を計測した。計測した値をもとに階段最上段からの落差 z （階段最上段高さとの差）と踏み面上水深 h および流体力 $U^2 h$ の関係を求めた。なお、 U は、各階段上の流速である。

階段最上段からの落差 z （階段最上段高さとの差）と踏み面上水深 h の関係を表す近似式を求めた結果、次式が得られた。

$$h = 0.2305 q^{0.9728} z^{-0.4021} \quad (1)$$

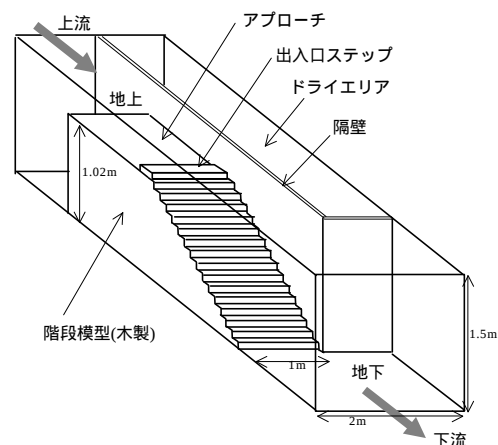


図-1 階段模型の概要

キーワード：氾濫流、地下空間

連絡先：〒305-0804 つくば市大字旭1番地, Tel. 0298-64-2211, ext.3937

なお、 q は単位幅流量 (m^2/s) である。図-2 は、近似式をもとに階段最上段からの落差 z (階段最上段高さから踏み面高さの差) と踏み面上水深 h の関係を示したものである。ただし、地上水深と単位幅流量の関係には、実験で求めた次の関係式を適用している。ここに、 $H(\text{m})$ は、地上水深である。

$$q = 1.59H^{1.65} \quad (2)$$

また、式 (1) をもとに、階段最上段からの落差 z と流体力 U^2h の関係を示したものが図-3 である。

(2) 実物大模型を用いた階段上歩行実験

水路内に設置された実物大の階段模型に水を流し、被験者が階段上を歩行する実験を行った。実験に用いた階段模型 (木製) は、階段部分と地上アプローチ部分からなり、蹴上は、0.18m、踏み面は 0.27m、段数は 5 段、階段横幅は 1.00m である。表-1 の実験ケース毎に、被験者に階段を上ってもらい、恐怖感や歩行の容易さ等についてアンケートを行った。また、階段を上っている時の被験者の様子について、ふらつき具合、壁に手をついて上っているか等の項目について観察を行った。被験者は、20 代～40 代の被験者 14 名 (うち女性 3 名) とした。

階段上歩行実験で観察された歩行の様子 (全実験ケースの全ての段上) と流体力 U^2h の関係を図-4 に示す。歩行者によってばらつきがあるが、おおむね、 U^2h が、 $1.5(\text{m}^2/\text{s}^2)$ 程度になると階段を上るのが困難になるといえる。

4. まとめ

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の把握を試みた。

実験の結論として、階段上の歩行実験から、おおむね、 $1.5(\text{m}^2/\text{s}^2)$ 程度になると歩行が困難になる事が分かった。図-3 を見ると、地上水深が 0.3m の場合でも地上部と地下施設までの落差が 3.5m あれば、流体力が $1.5(\text{m}^2/\text{s}^2)$ となり、階段上の歩行が難しくなるといえる。また、地上水深が 0.4m の場合、地上部と地下施設までの落差が 1m より大きくなると、流体力が $1.5(\text{m}^2/\text{s}^2)$ 以上となり、階段を上ることが困難かつ危険になるといえる。ただし、階段を流下した水が地下施設床面に衝突し、滝壺のような乱れを生じる階段の最下流端では、上記よりもより危険な状態が生じていることに留意しなければならない。

【参考文献】1) 末次忠司：都市型地下水害の実態と対策，雨水技術資料，Vol. 37，pp.7-18，2000.6.

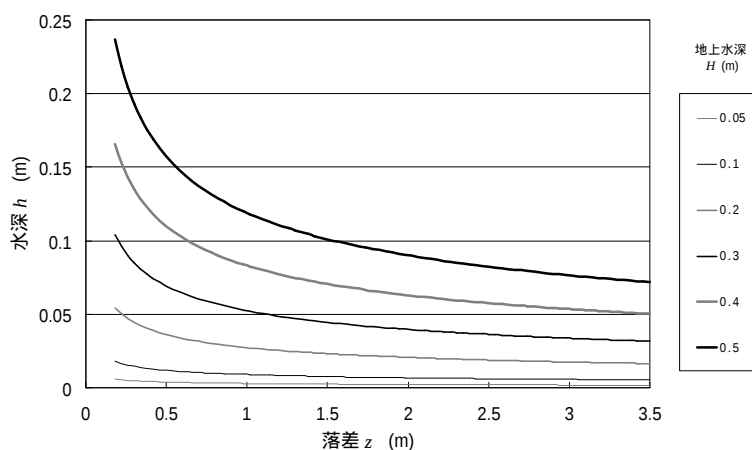


図-2 落差 z と踏み面上の水深 h の関係

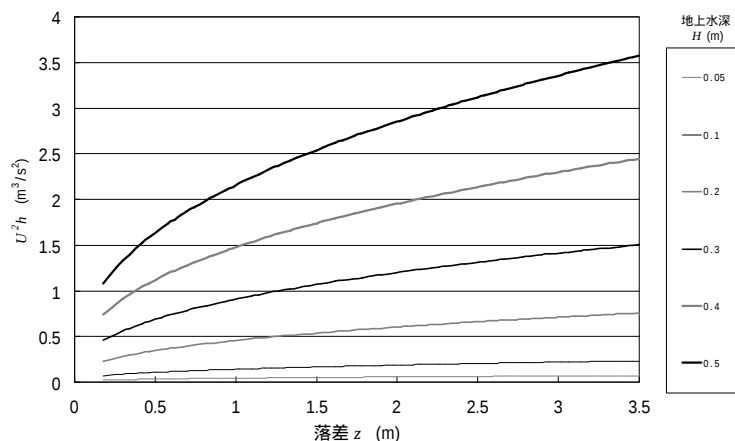


図-3 落差 z と踏み面の流体力 U^2h の関係

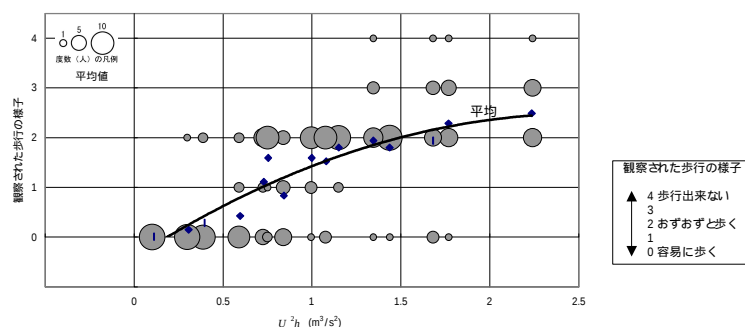


図-4 階段上の流体力 U^2h と観察された被験者の歩行の様子の関係

表-1 実験ケース

実験ケース	上流部水深(m)	単位幅流量(m^3/s)
1	0.05	0.018
2	0.10	0.055
3	0.20	0.153
4	0.30	0.282
5	0.40	0.415
6	0.50	0.580