

水害避難時の歩行速度に対する周辺環境影響に関する 実験的検討

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科

学生員 ○水野 力斗
正会員 二瓶 泰雄

1. 序論

数十年に一度の大雨に対応する“大雨特別警報”は、気象庁が2013年8月に導入してから2014年末まで既に4件も発令された。また平成25年伊豆大島、平成26年広島で大規模土砂災害が発生し、「命を守る行動」に相当する豪雨災害が全国各地で多発している。このためには、築堤等のハード対策を着実に進めることに加え、予警報システムの高度化や避難行動の啓発等のソフト対策のより一層の充実が必要である。後者に関しては、現在、空振りを恐れない避難勧告等の徹底が進められつつあるが、短時間降雨の予測精度の限界や避難勧告の遅れ、避難勧告後の住民の低い避難率等に起因して、水害発生初期及びその後の避難行動を余儀なくされる¹⁾。そのため、水害時における避難行動や水中歩行状況の把握は極めて重要である。これまでの水害避難時の歩行速度に関しては、須賀ら²⁾や石垣ら³⁾等により室内実験が行われ、水中歩行速度が水深や流速の上昇と共に減少することが明らかにされている。しかしながら、実際の水害避難時では、1) 水面下が見えない、2) 発災が夜間かつ停電により真暗闇になる、3) 豪雨時では見通しが悪い、など過酷環境となるが、それらを想定した実験的検討は皆無である。本研究では、過酷な周辺環境が水害避難時の歩行速度に及ぼす影響を水路実験を通して明らかにする。ここでは、水深・流速・昼夜条件を変化させて、歩行速度の平均速度や最低速度(避難限界)に関する基礎的検討を行う。

2. 研究方法

(1) **実験水路**：本実験で用いる開水路は長さ36m、幅1mであり、水路中央に勾配1/20の斜面があり、その他は水平床である。本水路には、津波実験用の段波発生装置が付いている。

(2) **実験条件・方法**：上記の水路において、図1に示すように、①水深実験、②流速実験、③昼夜実験、という3種類の実験を行った。各実験における詳細な条件は表1の通りである。なお、被験者は、いずれも二十代前半の男女である。

まず、①では、一定水位の静水状況下にて被験者が歩行する。その際、過酷条件の一つである底面の視認性を低下させると共に、底面の凹凸を作るため、水面上にスズランテープを浮かべ、かつ、底面に水の入ったペットボトルを沈めた。なお、図中左側と右側の計測区間(水平床部分)では水深が異なるため、一度の歩行で2つの水深条件を行う。ここでは、ストップウォッチを用いて、2つの計測区間内の平均歩行速度を計測する。

次に、②では、段波装置の前後の水位差をつけて津波を計8種類発生させ、被験者が津波の進行方向に対して逆向き(逆流)、同じ向き(順流)に歩行する。この様子をビデオカメラで撮影し、歩行者の時々刻々の位置と歩行速度を計測する。なお、別途、津波のみを発生させた実験を行い、本条件の計測区間の中央部(X=4m)において、水位(容量式波高計、東京計測(株)製)と流速(電波流速計、横河電子機器(株)製)を計測し、その結果をデータ解析に用いた。

③の実験では、被験者がアイマスクを着用して「夜」の状況を再現して、所定区間の歩行速度の計測をストップウォッチにより行う。ここでは、昼夜の差のみを見るため空中における実験とし、アイマスクを着用しない「昼」の実験結果は、空中歩行速度であるため、実験全体のreference条件とする。

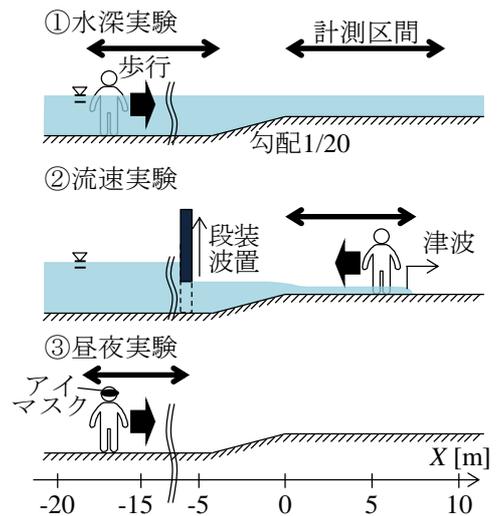


図1 各実験状況の概要

表1 実験条件の詳細

実験名	水深	流速	昼夜
流況	静水中	流水中(津波)	空中
水深 [m]	0~0.60	0.05~0.33	—
平均流速 [m/s]	0	0.85~2.02	—
昼夜	昼	昼	夜
被験者数n	7	5	18

キーワード：水害、避難行動、歩行速度、流速、水深

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501 (内線 4069) FAX：04-7123-9766

3. 結果と考察

(1) **各実験の生データの特徴**：三種類の実験結果の基本的特徴を抽出するために、全実験に参加した3名の被験者A, B, Cの歩行速度を図2に示す。ここでは、各条件の歩行速度データの平均と標準偏差を表示する。また空中での昼夜実験は昼と夜に分ける。これより、昼間・空中の reference 条件の歩行速度は平均値で 1.1~1.4m/s となる。他の条件はこのデータよりも当然ながら低下するが、その様子は条件ごとに異なる。水深・流速実験では本実験範囲では歩行速度は 0.58~0.76m/s となりそのバラツキは流速条件の方が大きい。夜間時の歩行速度は、空中にも関わらず他の条件より大きく低下している。

(2) **歩行速度の水深・流速依存性**：水深・流速実験結果から歩行速度に対する水深と流速の依存性を見るために、歩行速度と水深の相関図を図3に示す。流速実験結果に関しては、被験者の歩行中に相当する時間における水深と流速の平均値を求めており、一部のデータのみ流速値を図中に記述している。これより、両条件共に、水深の増加に対して歩行速度は低下している。また、その歩行速度の低下状況の傾きは流速実験の方が大きく、両実験結果の差は流速の影響に相当する。

これらの結果を用いて、様々な流速・水深条件下における歩行速度コンターを図4に示す。ここでは、水深 0 付近のデータが不足しているため、同一流速で直近の値と同じになるように補間している(図中斜線部分)。また、歩行速度としては、避難行動の安全性の観点から、各実験条件における全被験者データの最低値を採用している。これより、流速や水深が大きくなると歩行速度は小さくなり、流速 1.9m/s を越えると歩行速度は 0 となる。ここで、避難時の歩行限界として速度 0 は極端であると考え、一つの目安として 0.3m/s (1km 先の避難所に 1 時間かかる速度) を歩行限界とすると、同図中の赤い点線のようになる。このように、昼間条件では流速 1.7m/s 以下、水深 0.74m 以下が歩行限界となる。この流速は空中歩行速度 (reference 条件) をやや上回る程度、水深は大人の股下よりやや長い程度であり、概ね妥当な結果である。

(3) **歩行速度への昼夜条件の影響**：図5は昼夜実験から得られた昼間・夜間の歩行速度の頻度分布を示す (n=18 名)。これより、歩行速度の平均値は昼間では 1.18m/s、夜間では 0.57m/s となり、平均的には夜間のほうが約 0.6m/s も歩行速度が低下している。この結果を用いて、夜間の歩行限界速度を、上述の昼間の歩行限界速度 (=0.3m/s) に昼夜の差 (=0.6m/s) を加えたものとし、図4に夜間の歩行限界をプロットする(同図中黒い点線)。このように、夜間では流速 0.68m/s 以下、水深 0.23m 以下が歩行限界となり、歩行避難可能な水理条件が極めて限定されていることが示された。

4. まとめ

- 1) 歩行実験結果より、水深や流速の増加に伴い歩行速度は低下するが、本実験範囲では流速への影響が顕著であった。
- 2) 様々な水深・流速条件下の歩行速度コンターより得られた歩行限界としては、昼間では流速 1.7m/s 以下、水深 0.74m 以下、夜間では流速 0.68m/s 以下、水深 0.23m 以下となった。
- 3) このように、夜間という過酷条件下では歩行避難可能な水理条件が極めて限定され、水平避難の危険性が極めて高い。

なお、これらの結果はデータが少なく補間部分も多いため、今後、追加実験を行い、適宜修正する必要がある。

参考文献：1)神谷ら，土木学会論文集 G (環境)，Vol.70, No.50, pp.87-94, 2014. 2)須賀ら，水工学論文集，Vol.38, pp.829-832, 1994. 3)石垣ら，水工学論文集，Vol.50, pp.583-588, 2005.

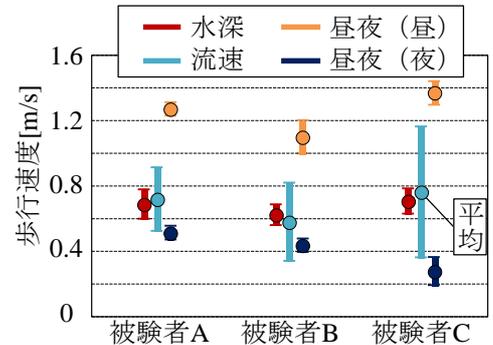


図2 全条件の歩行速度 (平均±標準偏差)

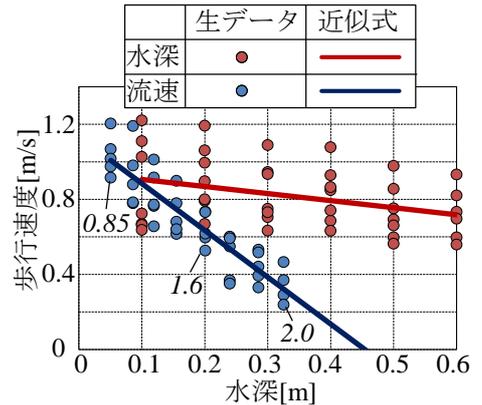


図3 歩行速度の水深依存性 (図中の斜線は流速値, 単位: m/s)

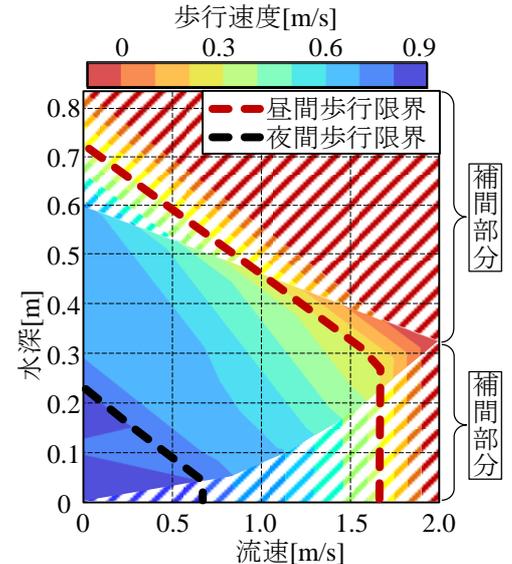


図4 様々な流速・水深条件の歩行速度コンターと歩行限界 (各条件の最低値を採用)

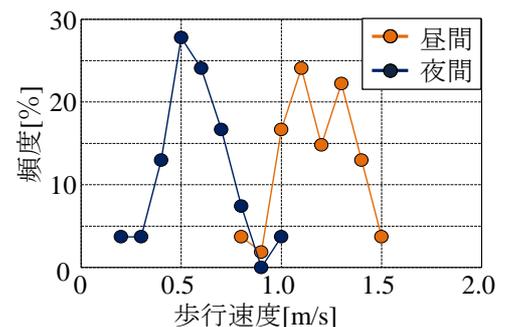


図5 昼夜条件下の歩行速度の頻度分布