

水害避難時の様々な周辺条件下における歩行限界条件の定量化

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

数十年に一度の規模の大雨が毎年のように発生している．また大雨に起因する水害の発生頻度も高く、甚大な被害をもたらす．これらの対策として有効な手段の一つに避難が挙げられる．避難には、自宅から避難場所までの水平避難と自宅の 1 階から自宅の 2 階以上もしくは周辺の高い建物へ避難する垂直避難がある．一方、水害発生後の避難は水面下が見えなかったり豪雨時には見通しが悪くなったりと非常に危険な状況である．そのため国土交通省でも浸水後の水平避難は避け、垂直避難をするよう呼びかけている．しかしながら、避難勧告の遅れや避難勧告後の住民の低い避難率等によって水害発生後の避難が余儀なくされている<sup>1)</sup>．このような水平避難が必要な時には、夜間等の過酷な周辺条件が現れるケースも多い．そのため、過酷な周辺環境下における水害時の避難行動や水中歩行状況を把握することは極めて重要である．水害時の歩行速度に関しては須賀ら<sup>2)</sup>や石垣ら<sup>3)</sup>によって室内実験が行われ、水中歩行速度は水深・流速の上昇に伴い減少することが明らかにされた．一方で、実際の水害発生時における周辺条件を想定した実験は未だ皆無であり、水中歩行速度に対する水害時の環境影響は未解明である．

そこで著者らは、水深 1.5m 以上、流速 3m/s 以上の流況を再現可能な大型水路を用いて様々な水理・周辺条件下の歩行速度の平均速度や避難限界条件に関する基礎的実験を実施した．そこでは水中歩行速度は水深・流速と逆相関の関係にあること、さらに周辺環境によって歩行限界条件が大幅に縮小されることが定量的に明らかとなった(水野・二瓶, 2016<sup>4)</sup>、以下前報と呼ぶ)．本論文では、前述の実験における周辺環境条件を改めて設定し、周辺環境による歩行限界条件への影響の再検討を行い、様々な環境条件下における歩行限界条件の定量評価を試みる．

2. 研究方法

本実験で用いる水路は図 1 に示すような長さ 20m、幅 1m、高さ 1.8m の水平床を有する大型開水路である．流量を変化させ、さらに水路上下流に設置したゲートの上下によって様々な水理条件が再現可能である．

本実験は表 1 に示す実験条件にて行った．今回は周辺環境条件として長靴を履いた避難、浸水後の濁水中の避難、夜間避難の 3 つを考えそれぞれ Case 1, 2, 3 と設定した．被験者はいずれも 20 代前半の男女である．まず Case 1 では、他の条件では高さ 1.3m の胴付長靴を着長するが、ここでは高さ 0.3m の長靴を着用して水中を歩行する(図 2)．水深条件としては通常歩行でも濡れない 0.1m、長靴高さぎりぎりの 0.25m、最初から濡れる 0.5m の 3 種類設定した．Case 2 では氾濫水の濁りが大きく底面が見えない状況を再現するため水路内に図 2 のような障害物を設置しさらに水を濁らせる．水深条件は 0.5m とし、ここでは底面が見えない状況下で歩行する．さらに Case 3 では Case 2 の条件下で実際の夜間に実験を行った．これら 3 ケースの実験結果から、周辺環境条件の水中歩行速度に対する影響を明らかにしさらに歩行限界条件について考察する．

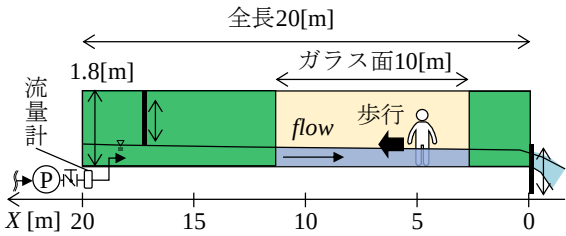


図 1 大型開水路の概要

表 1 周辺条件の概要

| 実験     | Case 1         | Case2 | Case3 |
|--------|----------------|-------|-------|
|        | 長靴             | 濁水    | 夜間    |
| 流況     | 静水             |       |       |
| 水深 [m] | 0.1, 0.25, 0.5 | 0.5   | 0.5   |
| 履物     | 長靴             | 胴長    | 胴長    |
| 昼夜     | 昼              | 昼     | 夜     |
| 被験者数 n | 4              | 10    | 10    |

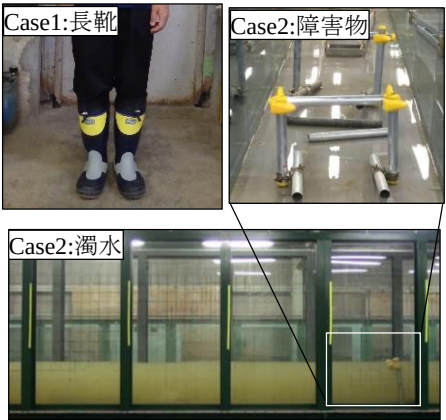


図 2 設定された周辺条件の様子

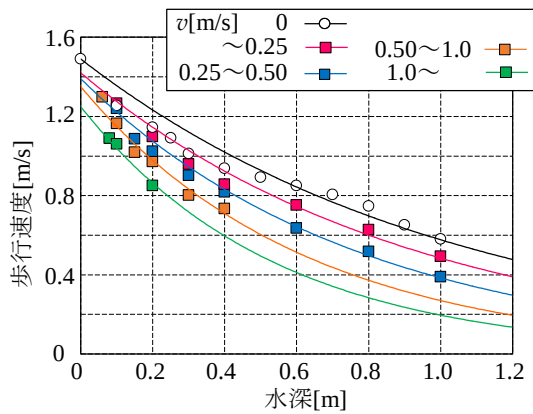


図3 歩行速度と水深の相関図  
(被験者 13 名の歩行速度の平均値)

### 3. 結果と考察

#### (1) 実験結果

図3には前報の実験における様々な水理条件下の歩行速度と水深の相関図を示す。歩行速度の水深依存性と流速依存性も見るため流速を大きき別に表示した。これよりまず水深の上昇に伴い歩行速度は減少する。さらに流速別では流速値が大きいほど流速 0 との差が広がる。このように、歩行速度は水深・流速と逆相関の関係にあることが定量的に示された。

次に周辺環境の影響を見るために行った Case 1-3 における歩行速度を図4に示す。縦軸に周辺環境条件を加味した歩行速度、横軸に加味していないものを図示している。また図中に近似式も表示している ( $y_i = \alpha_i x_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  であり, Case 1-3 の実験に相当する)。これより, Case 1 では近似直線の傾き  $\alpha_1$  は 0.50 となった。さらに Case 2, 3 でも同様に傾き  $\alpha_2$  は 0.391, 傾き  $\alpha_3$  は 0.247 となり, 水中歩行速度の低下に対して長靴<濁り<夜間の順で影響が大きい。

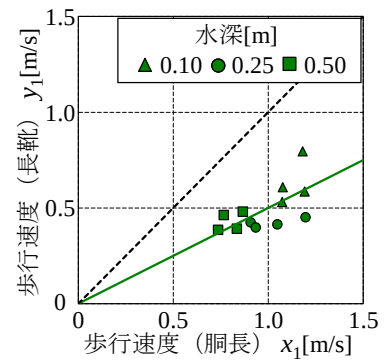
#### (2) 歩行限界条件

図3に示す結果を用いて様々な水理条件下における歩行速度コンターを作成すると図5のように色分けされ, このコンターを用いて歩行限界条件について考察する。一例として歩行速度 0.5m/s を歩行限界速度とすると, まず周辺環境の影響がない場合, 図中の赤実線の下側が歩行限界条件となる。これに周辺環境の影響を加味すると, 歩行限界条件はそれぞれ赤点線のようになり, 周辺環境の影響によって歩行限界条件が大幅に縮小されることが明らかとなった。さらに, 上述の近似直線の傾きの大きさ, 長靴, 濁り, 夜間の順にその影響が大きく, 特に夜間の条件では歩行可能条件が皆無となった。

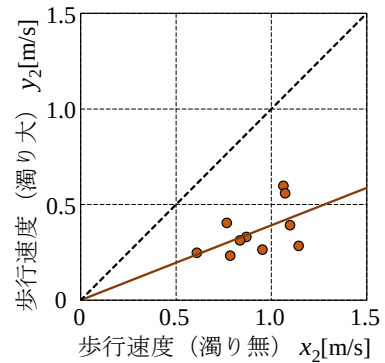
### 4. まとめ

- 1) 様々な周辺環境条件下での実験結果より, 水害発生後の歩行速度は通常歩行速度の約 30~50%となる。
- 2) 履物, 濁り, 夜間の順で歩行速度に対する影響が大きく, 特に夜間の条件下では歩行限界条件が皆無となった。

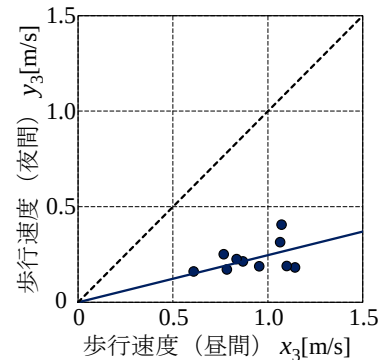
参考文献: 1)神谷ら, 土木学会論文集 G (環境), Vol.70, No.50, pp.87-94, 2014. 2)須賀ら, 水工学論文集, Vol.38, pp.829-832, 1994. 3)石垣ら, 水工学論文集, Vol.50, pp.583-588, 2005. 4)水野・二瓶, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.72, No.4, pp.1333-1338, 2016.



(a) 履物実験



(b) 濁り実験



(c) 夜間実験

図4 歩行速度に対する周辺環境の影響

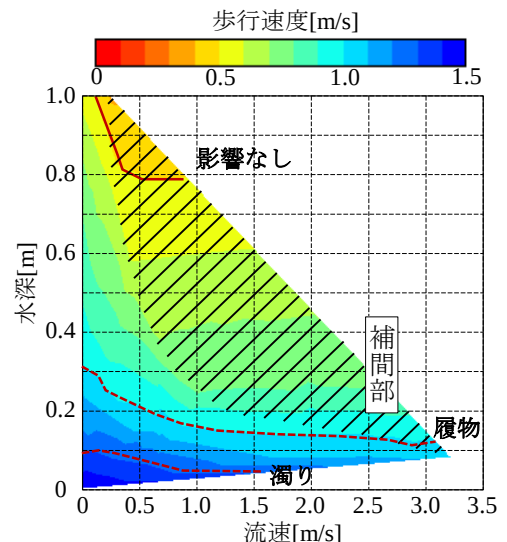


図5 様々な水深・流速条件の歩行速度コンターと歩行限界 (歩行速度 0.5m/s となる時の水理条件範囲を線で表示)