EVACUATION EXPERIMENT BY BICYCLE IN FLOODED WATER AT UNDERPASS

戸田 圭一^{1*}·石垣 泰輔²·馬場 康之³

Keiichi TODA1*, Taisuke ISHIGAKI2, Yasuyuki BABA3

We have conducted evacuation experiments using real size models and studied the difficulty of evacuation by bicycle. To simulate real flow in an underpass, an almost actual-sized channel was installed. For the flow velocities of 25cm/s and 50cm/s, the depths were changed from 10cm to 40cm in units of 10cm. Participants pedaled two types of bicycles and their run speed was measured. We also executed questionnaire survey to the participants. The run speed by bicycle was almost the same as the walking speed without water of 1.33m/s (4.8km/h) under the conditions of flow velocity of 50cm/s and the water depth of 20cm and flow velocity of 25cm/s and the water depth of 30cm. According to the questionnaire survey to the participants, about 80% participants answered they had a difficulty when the water depth was over 30cm for the flow velocity of 50cm/s. As a result, under the flow velocity condition this time, the water depth of 20cm to 30cm can become a critical condition of evacuation by bicycle in flood water.

Key Words : evacuation experiment, real sized model, bicycle, flood inundation, underpass

1. はじめに

氾濫時の避難は徒歩であれ、車であれ、大変な危険を 伴うことが既往研究で明らかにされている.水中歩行に よる避難の限界指標について亀井りは、成人男性、成人 女性,子供・高齢者の避難限界は,それぞれ,70cm, 50cm, 20cmと示している. また須賀ら²⁾, 浅井ら³は, 人間を被験者とした避難実験を実施して、人間の避難限 界を流速、水深をもとにした水理量との関係で表現して いる. 亀井の知見から明らかなように、氾濫時に徒歩避 難することは大変危険であることは明白である. また 1982年の長崎大水害時4に見られるように、氾濫時に車 が漂流すると車の衝突や水没で水難事故を招く.漂流し なくても、道路冠水により水深が80cm程度になるとド アにかかる水圧で運転席からの脱出の限界状態となる⁵. 一方、徒歩や車と並んで、普段の移動手段の一つであ る自転車については、氾濫時の避難に使用されることは 一般的ではないが、緊急時などに使用される可能性はな

いとは言えない. 自転車による避難について確かな知見 を得ておくことも大切であり,本検討は「氾濫時に自転 車を使って人間が避難することがどの程度困難である か」を実物大の水路を用いた体験実験から検討し,最終 的には自転車避難時の避難限界指標を見出そうとするも のである.

2. 実験方法と実験条件

図-1,写真-1に示す,京都大学防災研究所宇治川オー プンラボラトリの実物大階段模型下流の,幅lm,長さ 約10mの直線水路に水を流した状況で,被験者が,2種 類(26インチと20インチ)の自転車を流れに逆らって漕 いで移動する実験を行い,その所要時間を計測した.被 験者は,直線水路下流端で計測担当者から合図を受けた 後,自転車を走行させ,9.5m上流の階段先端に自転車の タイヤが接した時に手を挙げて計測者に合図を送った.

キーワード:避難実験,実物大模型,自転車,洪水氾濫,アンダーパス

¹フェロー会員 京都大学教授 経営管理大学院 Professor, Graduate School of Management, Kyoto University

⁽E-mail: toda.keiichi.4z@kyoto-u.ac.jp)

²正会員 関西大学教授 環境都市工学部 Professor, Department of Civil, Environmental and Applied System Engineering, Kansai University

³正会員 京都大学准教授 防災研究所 Associate Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University



図-1 実験に用いた水路



写真-1 実験に用いた水路(下流から望む)



(a)20インチ自転車

(b)26インチ自転車

写真-2 実験に用いた自転車



写真-3 実験の様子

この方法で所要時間のデータを収集した.

自転車は、**写真-2**に示すように、20インチと26インチ の2種類である.20インチの自転車はいわゆる折りたた み自転車で、タイヤの大きさ50.8cm、地面からのペダル 高さはペダルが最も下にあるときで9.5cm、最も上にあ るときで46.5cmのものを使用した.26インチ自転車は、 いわゆるシティサイクルで、タイヤの大きさは66cm、 地面からのペダル高さはペダルが最も下にあるときで 12.5cm、最も上にあるときで43.5cmのものを使用した.

実験では、水路に通水する流量および下流端の水深を 調整し、50cm/sと25cm/sの2種類の流速に対して、水深 を10cmから40cmまで10cm刻みで変化させた.また水深



写真-4 大規模水槽 (関西大学)



図-2 流れがない状況での自転車走行コース

0cmに相当する非浸水の状態でも走行時間を計測した. 流速50cm/sのときの被験者は20名でそのうち男性17名, 女性が3名,流速25cm/sのときの被験者は13名で,男性12 名,女性1名であった.2種類の流速の実験とも,年齢50 歳以上の男性が2名参加したが,それ以外の被験者はす べて20代であった.

実際の実験の様子を**写真-3**に示す. 被験者は安全面で の配慮からヘルメットとプラスチック製の肘あてを身に つけて自転車を走行させた. 通常の道路では氾濫時,降 雨の中を自転車で移動する状況となることが多いが,今 回の実験では,アンダーパスが浸水している状況を想定 しており、降雨の状況は考慮していない.

なお、関西大学の水理実験場でも、**写真-4**に示すよう な大規模水槽を用いて、流れがない状況(流速0cm/s) で水深を0cm(非浸水の状態)から50cmまで10cm刻みで 変化させて自転車の走行実験を実施した.**図-2**に示すよ うな、カラーコーン(図中の丸印)が置かれたコースを 3周して所要時間を計測した.被験者は13名で、内訳は 成人男性のみで、年代も20代のみの構成になっている. 流れがある場合の実験結果との比較の際には、最初の半 周に要した時間のみを抽出して採用した.

3. 実験結果

被験者の所要時間の実験データから自転車による平均の走行速度を求めた. 図-3に水深と走行速度との関係を示す. 流速25cm/s に対して,20インチの自転車,26インチの自転車を用いたケースをa,b,同様に,流速50cm/sに対するケースをc,d,流速0cm/s (静水)に対するケース



図-3 自転車走行速度と水深の関係

をe,fとする.

走行速度は自転車のサイズの影響を受ける.水深が増加するにつれて26インチの方が20インチより走行しにくくなる.水深が浅く水による抵抗をさほど受けない場合は、26インチ自転車の方が走行速度は大きいが、水深が増加して水による抵抗が大きくなると、タイヤのサイズが大きいほど自ら受ける抵抗面積も大きくなり、その分、26インチ自転車の方が走行速度は遅くなるものと推察される.したがって、水深が浅いうちは26インチ自転車, 深くなると20インチ自転車の方が速い結果となった.

平均の走行速度を非浸水のときの値で無次元化して無 次元走行速度とし,流速,水深との関係を調べた. 図-4に流速の違いによる無次元走行速度と水深との関係を 示している.流速25cm/sに対して20インチの自転車がケ ースa, 26 インチの自転車がケースb,流速50cm/sに対し て20インチの自転車がケースc, 26インチの自転車がケ ースd である.

これをみると, 流速50cm/sのときは水深10cm, 流速 25cm/sのときは水深20cmを超えると無次元走行速度の低 減率が大きくなる.

4. 被験者へのアンケート調査結果

流速50cm/sの実験を体験した被験者に対して、体験前 と体験後で簡単なアンケートを取り、自転車避難に関す る意識調査を行った.以下に質問内容とその回答を記す. なお被験者は20名だったが、途中退出者もいたため、全 員からの回答ではない.

[体験前]

質問Al:避難するとすれば、どの手段で避難するか?



図-4 流速50cm/s,25cm/s のときの無次元走行速度

(回答)歩く:10人,走る:8人,自転車・自動車:0人, その他:0人

質問A2:水深何cmまでこげると思うか?

(回答)20cm:5人,30cm:5人,40cm:5人,50cm:3人 [体験後]

質問B1:20インチと26インチ,どちらがこぎやすいと感じたか?

(回答)20インチ:13人,26インチ:3人,浅いなら26イ ンチ,深いなら20インチ:2人

質問B2:避難体験後,何cmまでなら自転車で避難でき ると思うか?

(回答)10cm:1人,20cm:3人,30cm:10人,40cm:4人 質問B3:体験を通して、どの手段で逃げるか?

(回答)歩く:8人,走る:7人,自転車:1人,浅いなら 自転車,深いなら歩く:2人

図-5, 図-6, 図-7は, 質問B1, B2, B3 のアンケート 結果を円グラフで示したものである. 図-5より, 全被験 者の70%以上が20インチ自転車の方が漕ぎやすいと答え



図-5 漕ぎやすさに関するアンケート調査結果



図-6 避難限界に関するアンケート調査結果



図-7 避難手段に関するアンケート調査結果

ている.3章の避難実験の結果にもあるように,26イン チ自転車の方が,水深が増加するほど水から受ける抵抗 が大きくなるため,このようなアンケート結果になった と考えられる.図-6より,流速50cm/sの条件下での避難 可能水深として約半数の者が30cmと回答しており, 40cmと回答した者は全体の2割程度である.体験を通し てどの手段で逃げるかとの問いには,図-7に示すよう に,8割以上の被験者が歩くあるいは走るという,自転車 などの道具に頼らない手段で逃げると回答している.

5. 自転車による避難困難度の検討

自転車による体験実験ならびにアンケート調査結果を ふまえて、氾濫時の自転車による避難困難度についてま とめてみる.

図-3より,浸水の影響のない通常の状態での歩行速度 1.33m/s(時速4.8km) と同等の自転車の走行速度は,流速 50cm/sでは水深20cmのとき,流速25cm/sでは水深30cmのと きに現れた.通常の歩行者と同じ速度でしか自転車を漕 げない状況で,まとまった距離を移動するというのは現 実には相当困難であると考えられる.

また3章の結果を再掲するが,流速50cm/sのときは水 深10cm,流速25cm/sのときは水深20cmを超えると速度の 低減率が大きくなる.そして水深の増加とともに速度の 低減の度合いは静水時より大きく,流速の影響により自 転車走行の困難度が増してくる.また,体験者のアンケ ートによると,避難可能水深として30cm以下との回答 が約8割を占めた.

以上より総合的にみて、自転車走行は流れの影響を少なからず受けるものであり、今回の実験での流速の範囲では、水深20cm~30cmが自転車による避難困難度の一つの指標になると考えられる.

6. おわりに

最大流速が50cm/sと内水氾濫程度のものであり,移動 距離も10m程度という限定的な条件下での実験ではある が,走行の困難さを考慮すると,避難手段として自転車 を使用することは有効とは考えづらい.またアンダーパ スで思わぬ事故にあう危険性も十分考えられよう.今後, 被験者の数を増やしたり,もう少し大きな流速を与えた りして,実験結果の信頼性を高めていきたい.また流れ 方向に避難する場合も検討の必要があろう.

最後に,実験に協力いただいた京都大学,関西大学の 関係者,学生諸氏に心より感謝の意を表します.

参考文献

1) 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.

2) 須賀堯三・上阪恒雄・白井勝二・高木茂知・浜口憲 一郎・陳志軒:避難時の水中歩行に関する実験,水工学 論文集第38巻, pp.829-832, 1994.

3) 浅井良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一:高齢者 を含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関 する検討,水工学論文集第53巻, pp.859-864, 2009.

4) 高橋和雄・高橋裕: クルマ社会と水害 -長崎豪雨 災害は訴える-,九州大学出版会,1987.

5) 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一・中川一:水没した 自動車からの避難に関する実験的研究,水工学論文集第 53巻, pp.853-858,2009.