

歩行調査画像分析に基づく群集密度－歩行速度関係の導出と 津波避難シミュレーションへの適用

徳島大学大学院 学生員 ○加賀谷俊介 徳島大学大学院 学生員 源 貴志
徳島大学大学院 正会員 成行 義文 徳島大学大学院 正会員 三神 厚

1. はじめに 次の南海地震は今後 30 年以内に約 50～60% の確率で発生し¹⁾、徳島県における津波による死者は約 1700 人と予測されている²⁾。津波による犠牲者を出さないためには、津波ハザードの高い地域の住民全員を地震発生後速やかに避難させることが最善の策である。このためには全住民参加の避難訓練を定期的に行い、住民の避難に対する意識・知識向上とともに有事の際の避難安全性を把握しておく必要がある。しかし、全住民参加型の避難訓練の実施は不可能に近い。実際の避難訓練の代替手段の一つとして藤原ら^{3),4)}は Petri Net (ペトリネット) を用いた避難シミュレーションモデルを構築し、それを用いた地区避難安全性評価法を提案している。しかしながら、藤原らのモデルには、住民の避難安全を支配する要因の一つである歩行速度の設定方法に関する検討が十分に成されていないという問題がある。このような観点より、本研究では既往の手法⁴⁾をより現実的なものに改善するために、各種歩行調査を実施し、それらの画像分析により群集密度－歩行速度式を導出するとともに、荷物条件や通路条件による歩行速度低下について検討した。さらに、徳島県阿南市の津波ハザードの高い地区を対象として、新たに導いた群集密度－歩行速度式を適用した津波避難シミュレーションを行い、既往の結果と比較・検討した。

2. 歩行調査画像分析による群集密度－歩行速度式の導出 本研究では、徳島大学での「疑似群集歩行調査」および阿南工業高等専門学校での「阿南高専避難訓練」の群集歩行状況をビデオカメラで撮影して画像分析に用いるサンプル画像を取得した。まず、疑似群集歩行調査について説明する。被験者は学生 44 人 (19～20 歳) であり、「避難を想定」、「走らない」、「追い抜き可能」ならびに「私語禁止」の 4 つの歩行時ルールを設定し、荷物条件を様々変化させて水平通路での撮影を行った。次に阿南高専避難訓練について説明する。被験者は学生 137 人 (17～20 歳、一部教職員含む) であり、避難訓練であるため歩行条件は与えなかった。また、撮影は上り階段で行った。

撮影した画像から本研究で開発した画像分析ソフトを用いて群集密度ならびに歩行速度を算出し、べきモデルにて密度－速度式の導出を行った。導出した密度－速度式を図-1 および図-2 に示す。これらの図よりわかるように上り階段 (図-2) においては群集として十分な密度が得られたが、水平通路 (図-1) においては群集とみなせる程の密度が得られなかったため、この式のシミュレーションへの適用を見送り、既往の密度－速度式 (水平通路) の内、実用的かつ簡便であるとされる戸川式⁵⁾ (図-1) を避難シミュレーションに適用することとした。

3. 荷物・通路条件が歩行速度に及ぼす影響について 荷物条件および通路条件による歩行速度の低下について検討するため水平通路および上り階段において単独歩行調査を実施した。被験者は学生 11 人 (22～27 歳) であり、荷物条件を 0kg (荷物なし)、5kg、10kg、15kg の

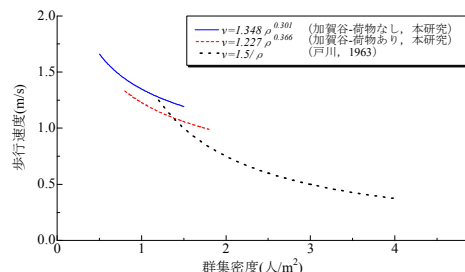


図-1 密度－速度式 (水平通路)

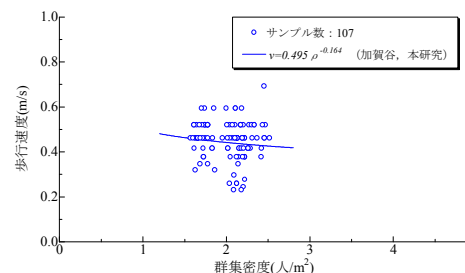


図-2 密度－速度式 (上り階段)

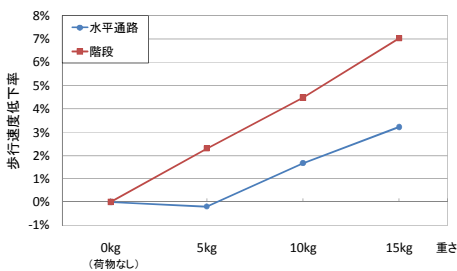


図-3 荷物条件による歩行速度低下率

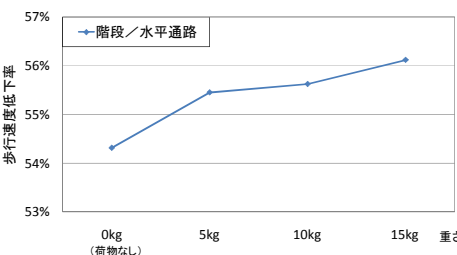


図-4 通路条件による歩行速度低下率

4 種に変化させ、水平通路および上り階段でそれぞれ歩行速度を計測した。また、通路条件の相違による影響を検討するため、水平通路および上り階段において歩行速度の計測を行い、水平歩行時と比べた上り階段における歩行速度の低下について検討した。本調査によって得られた歩行速度低下率(平均)を図-3 および図-4 に示す。まず図-3 より荷物の重さが 15kg の場合、荷物が無い場合に比べて水平通路においては歩行速度が約 3%, また上り階段においては約 7%低下しているのが分かる。次に図-4 から、上り階段では水平歩行時に対する歩行速度低下率が荷物重量とともに増大するが、その範囲は約 54%~56% (荷物重量 0kg~15kg) であることが分かる。

4. 各条件に対応する歩行速度 本研究では、表-1 に示す値を基本歩行速度として用いる。また、水平通路および上り階段等で混雑時の速度推定には表-2 のリンク密度-歩行速度式等を適用する。さらに、荷物条件と通路条件によって基本歩行速度を低下させる(表-3)。

5. シミュレーション条件 シミュレーション対象地区は過去の南海地震による津波被災経験を有する徳島県阿南市津乃峰町内で比較的活発に自主防災会活動が行われている地区とした(図-5)。一次避難場所は図-5 に示した A~C の 3 箇所です。対象住民数は 359 人(住宅数計 124 戸)である。各住民は世帯毎に移動し、その基本歩行速度はその世帯の中で最も遅い住民の速度とする。また、地震発生 7 分後に全員一斉に自力で避難を開始するものとした。この地区の沿岸への津波到達時間は地震発生約 26 分後とされており、この時間までの避難が必要である。

6. シミュレーション結果の検討 表-4 は「道路閉塞箇所:X&Y(図-5)」かつ「道路閉塞箇所の情報伝達なし」とし表-3 に示す各条件をそれぞれ適用した場合のシミュレーション結果を示している。表-4 よりわかるように、群集条件(密度-速度式)のみを適用した場合、リンク密度が比較的大きくならない地区であったため、避難に与える影響が小さかった。また、荷物条件のみを適用した場合、避難完了時間に約 1 分の遅延が生じたことから避難時の荷物の有無が避難に大きく影響することが分かった。そして、通路条件のみを適用した場合、階段において混雑が解消され避難完了時間が短縮されることが分かった。さらに、全ての条件を適用した場合、既往の研究結果⁴⁾よりも避難完了が 14 秒ほど遅くなった。このことは、これらの条件を考慮することが安全側評価となることを示していると思われる。

7. おわりに 本研究では、既往の避難シミュレーション手法を「①群集条件による歩行速度低下」、「②荷物条件による歩行速度低下」、「③通路条件による歩行速度低下」等を考慮し得るよう改良し、実在地区を対象として避難シミュレーションを行い、それらの条件が避難完了時間等に及ぼす影響について比較検討した。その結果、対象地区においては高密度な群集状況が発生しにくいため①の影響は小さいが、全条件を適用すると避難完了時間は長くなり安全側の評価となることが分かった。また、既往の研究で提案していた群集歩行速度やリンク低下率は大きく設定されていることが分かった。

8. 参考文献 1) 文部科学省研究開発局地震・防災研究課 地震調査研究推進本部ホームページ <http://www.jishin.go.jp/>
2) 徳島県：徳島県地震動被害想定調査,2005. 3) 藤原康寛,成行義文,源貴志,佐藤弘美：津波避難シミュレーションに基づく地区避難安全性評価法に関する基礎的研究,21 世紀の南海地震と防災,Vol.3,pp.157-166,2008. 4) 藤原康寛,成行義文,源貴志,三神厚：Petri Net を用いた津波避難シミュレーション手法の開発と地区避難安全性評価への適用,土木学会四国支部第 15 回技術研究発表会,pp51-52,2009. 5) 日本建築学会：建築設計資料集成-人間,丸善,2003.

表-1 基本歩行速度⁵⁾

年齢(歳)	男性(m/s)	女性(m/s)	年齢(歳)	男性(m/s)	女性(m/s)
0~4	※0.90	※0.90	45~54	1.30	1.17
5~9	1.00	1.00	55~64	1.20	1.08
10~14	1.20	1.20	65~74	1.00	0.90
15~34	1.50	1.30	75~84	0.90	0.81
35~44	1.40	1.26	85~	0.80	0.80

表-2 リンク密度と歩行速度の相関

リンク密度(人/m ²)	歩行速度	
	水平通路	階段
1.5以下	基本歩行速度	基本歩行速度
1.5超3.8以下	$v = 1.5/\rho$	$v = 0.495\rho^{-0.164}$
3.8超6.5以下	0.2m/s	0.2m/s
6.5超	-	-

表-3 各条件適用時の歩行速度

適用条件	歩行速度		
	水平通路	階段	坂道
①群集条件(密度-速度式)	表-2に準ずる	表-2に準ずる	40~80%低下 【既往研究値】 ⁴⁾
②荷物条件	3%低下	※70%低下	
③通路条件	0%低下	54%低下	
④全条件	3%低下 or 群集条件	56%低下 or 群集条件	

※既往の低下率65%に本研究の低下率7%を適用した歩行速度低下率

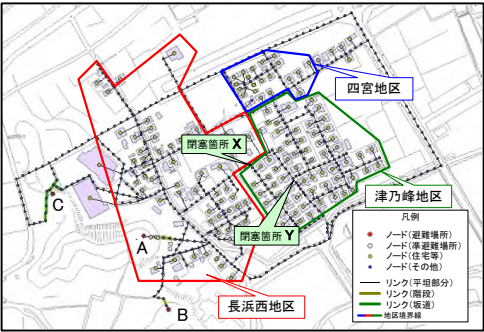


図-5 対象地区の道路ネットワーク

表-4 各条件適用が対象地区全体の避難完了時間に及ぼす影響

適用条件	避難完了時間(地震発生時から)	時間差
既往の結果 ⁴⁾	28分26秒	-
①群集条件のみ適用	28分26秒	0秒
②荷物条件のみ適用	29分30秒	64秒
③通路条件のみ適用	28分07秒	-19秒
④全条件適用	28分40秒	14秒