

密集空間における人体への作用力について

京都大学工学研究科 正会員 ○清野純史
 京都大学工学研究科 正会員 Charles Scawthorn
 京都大学大学院 学生員 東山寛之

1. はじめに

2001年7月21日に兵庫県明石市で開催された花火大会で、歩行者がJR朝霧駅の高架式歩道橋で群集なだれ事故に巻き込まれた。その結果、11人の死者と数百人の負傷者が発生した。このような大惨事になった原因は、15人/m²前後という密度によって生じた歩行者間の莫大な負荷と、事故発生当時形成されていた相異なる群集流であると考えられる。そこで本研究では、これらの負荷の計測実験と解析を行い、両者を比較することにより解析の妥当性を検討した。

2. 人体に作用する負荷計測のための実験

図-1に示すような底面が長軸0.45m、短軸0.225mの楕円形、高さが1.5mの楕円柱のバルーンを人体モデルとし、周囲から人体による負荷を作用させ、その際のバルーン内の空気圧の変化を力に変換することにより人体に作用する負荷を求める実験を試行した。準備として、計測圧力を力に変換する際の基礎式を求めるため、エアーマットによる実験を行った。その結果、載荷前空気圧、荷重接触表面積と計測圧力の関係は図-2に示すような関係となった。この結果を力学的観点から考察した結果、計測圧力の変動は図-3に示すようにマットの変形が原因であるという仮説を立てた。そこでマットの変形が最も剛体に近くなるような環境で実験を行い、計測圧力をパスカルの原理に則って力に変換した結果、以下の式に示すように計測圧力から作用力をほぼ推定できることがわかった。

$$0.8\text{kPa(増加圧力)} \times 0.900 \times 2\text{m}^2(\text{表面積}) = 1440\text{N} \quad (1)$$

$$70\text{kgf} \times 2(\text{荷重}) \times 10\text{m/s}^2(\text{重力加速度}) = 1400\text{N} \quad (2)$$

以上の結果にしたがって、バルーンを人体モデルとして実験を試みたが、モデルの素材である塩化ビニルは高圧力に耐えうる強度がなく、載荷前圧力を6.0kPa以上にすることが困難であった。また、バルーンの表面積が大きいため荷重を作用させた時に変形が大きくなり、剛体に近い実験環境をつくることが困難であった。

そこで、プレッシャスケールというフィルムを人体に貼り付け、混雑した通勤電車に乗る実験を行った。これは発色誘発剤が塗装してあるフィルムと発色剤が塗装してあるフィルムをそれぞれ互いに重ね合わせた状態で負荷を作用させると、作用力に応じた濃さで発色するというフィルムである。この結果を示したものが表-1である。また、実験結果と圧縮解析から求めた密度-作用力の関係を比較したものを図-4に示す。実験結果とよく対応した解析結果が得られていることがわかる。

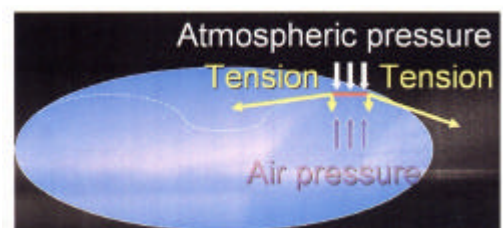
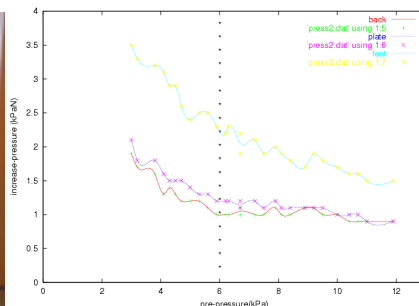


図-1 人体モデル(バルーン) 図-2 載荷前空気圧，接触面積と計測圧力 図-3 マットの変形と作用力

キーワード：密集空間、群集なだれ、人体作用負荷、DEM、群集密度、歩行速度

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 Tel.075-753-5132 Fax.075-762-2005

表-1 満員列車での作用負荷

路線	密度	背中	腹部	両腕	全体
御堂筋線	7.5 人/m ²	188N	66N	139N	393N
環状線	10.5 人/m ²	484N	226N	364N	1,074N

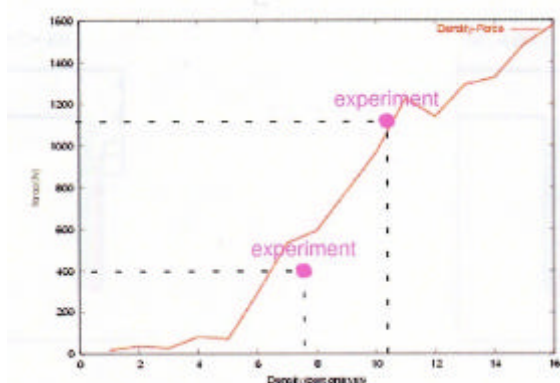


図-4 圧縮解析と実験結果の比較

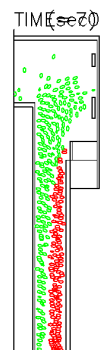


図-5 二方向群集流の様子

3. 解析結果

花火大会終了時刻近くなると、階段付近では花火大会会場に向かう流れと駅に向かう流れの二つの流れが発生した。この時の歩行の様子を再現するためまず少数の人数で双方の流れを再現した¹⁾²⁾。この場合、歩行の様子が適切に再現されていた。次に密集状況において歩行の様子を再現した(図-5)。密集状況では階段上部と高架との接続部分において双方の流れが衝突し流れが滞留していることがわかる。この原因は、古くから滞留の原因になると考えられているアーチアクションを含む複雑な挙動起因している。

また、この時の群集密度と歩行速度の関係を図-6に示す。同様に群集密度と作用負荷の関係を図-7に示す。これらの結果は、既往の研究結果および実験結果とよい対応を示していることがわかる。

4. まとめ

- 1) 実験から求めた密度 7.5 人/m² で約 400N、密度 10.5 人/m² で 1100N という作用力は圧縮解析から求めた密度 - 作用力曲線とほぼ一致した。
- 2) 二方向群集流をより現実に即した形で再現するための手法を考案した。
- 3) 二方向群集流で歩行者に作用する負荷および歩行速度は、それぞれ既往の研究結果や実験結果とよい対応を示すことがわかった。

参考文献：1) 清野他：土木学会論文集, No.591/I-43, 1998. 2) Kiyono, J. and N. Mori: Proc. of 13WCEE, 2004.

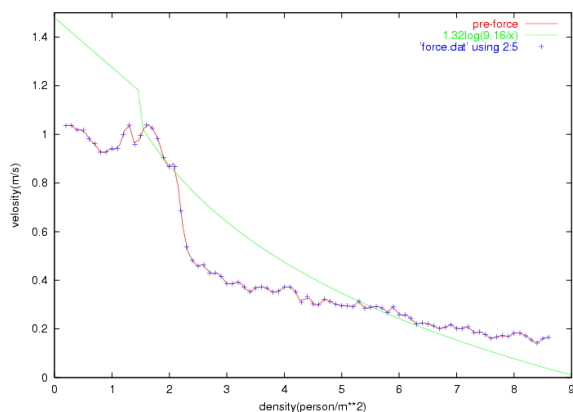


図-6 群集密度と歩行速度関係

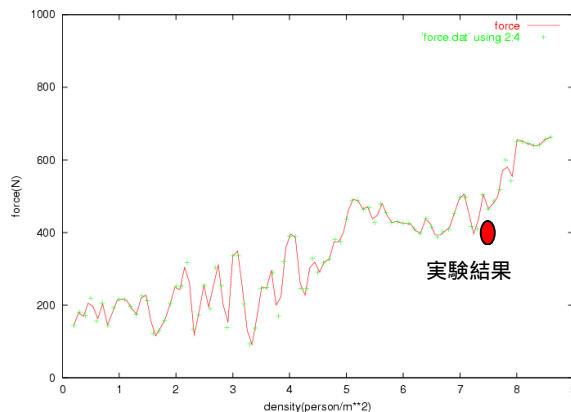


図-7 群集密度と作用負荷の関係