

群集歩行事故の力学的解析

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

フェロー

土岐憲三

京都大学大学院

学生員

○東山寛之

1. はじめに

2001年7月23日に兵庫県明石市で開催された花火大会で、観客がJR朝霧駅の高架式歩道橋で将棋倒しになるという事故が発生した。この朝霧歩道橋における群集歩行をDEM(個別要素法)^{1),2)}を用いて再現し、観客に作用する負荷について力学的観点から定量的な解析を行った。

2. 花火大会概要

事故発生現場である朝霧歩道橋のモデルを図1に示す。

また将棋倒し事故が発生するまでの過程を表1に示す。

この表において午後7時00分から午後7時45分までを第一段階、午後8時20分以降を第二段階とし、群集歩行の違いから本研究ではこの二段階に分けて解析を行う。

3. 群集歩行の特徴を考慮した解析手法

従来のDEMによる避難行動解析手法では、要素に作用する四種の力、すなわち個体推進力(F_e)、他の要素から作用する負荷(F_i)、壁から作用する負荷(F_b)、コーナーから作用する引力(F_c)には一定値しか与えられていなかった。

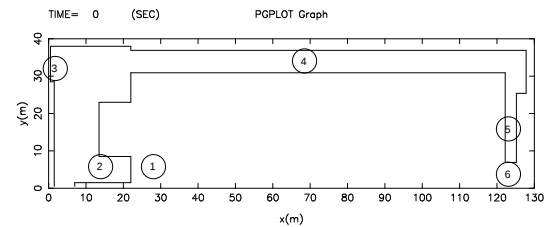
しかし、花火大会ではタイムステップの経過とともに群集密度が増大し、歩道橋上で滞留が発生するため、個体要素に作用する四種の力に変化が生じたと予測される。そこで、本研究では個体推進力、個体要素間一定数、コーナー引力に関して行った様々なパラメトリックスタディを基に、歩道橋をいくつかのエリアに分割して群集密度を算出し、この値が1人/m²を超えると以下の式に示す様な変化が生ずるものと仮定して解析を行った。

$$K = 0.0$$

$$F_c = 0.0$$

$$F_e = \frac{f_e}{d_{k+1} \cdot d_{k+2}}$$

ここで、 K は修正後の個体要素仮想バネ定数(N/m)、 F_c は修正後のコーナー引力(N/m)、 F_e は修正後の個体推進力(N)、 f_e は修正前の個体推進力(N)、 d_k はエリア k の群集密度(人/m²)を表す。



1 朝霧駅 2 改札口 3 バス停

4 高架橋 5 階段 6 大会会場

図1: 朝霧歩道橋モデル

表1: 花火大会の経過

7時00分	朝霧歩道橋上で観客の混雑が始まる
7時45分	歩道橋上の通行人が3000人を超える 花火大会開始
8時20分	会場側から歩道橋を上る人が出始める
8時30分	花火大会終了
8時40分	将棋倒し事故発生

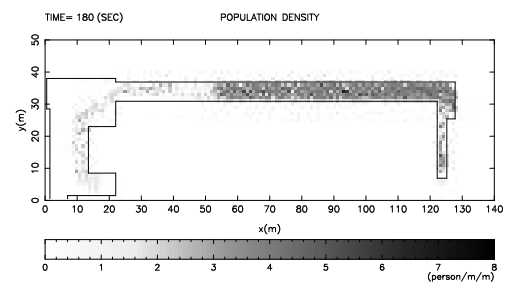
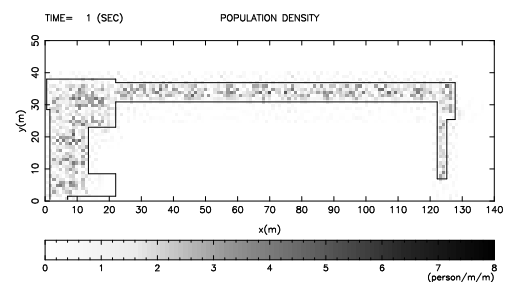


図2: 第一段階における群集密度時刻歴(その1)

キーワード: 将棋倒し、DEM、群集歩行、要素間負荷

連絡先: 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 土木システム工学 TEL:075-753-5133 FAX:075-762-2005

4. 第一段階の解析結果

第一段階では、歩道橋上の混雑が開始される午後7時から完了される午後7時45分までの群集歩行を解析する。

午後7時00分において、新聞、当事者の証言等の調査から高架橋上に約1000人の歩行者がいたことがわかった。そこで、高架橋上に1000人、全体で2000人の人を初期配置で配置し、以後JR、バスの朝霧駅到着時刻、降車人員に従って、午後7時00分から440秒間、歩行者を改札口、バス停から流出させつつ群集歩行を再現した。この時の歩道橋上の群集密度の推移を示したものが図2である。この図から歩道橋上では群集密度が最大で8人/m²以上に達していたことが分かった。

最終ステップ440秒後において、各要素に作用する F_i, F_b の和を、事故発生現場であり、群集密度の高い場所である、階段付近においてコンターで示したものが図3である。この図から最大の負荷が要素に作用しているエリアは、高架橋が右折する場所付近であり、その値は4Gにまで到達していたことが分かった。

5. 第二段階の解析結果

第二段階では、階段を海岸側から上る人が新たに現れ始めた午後8時20分から将棋倒し事故が発生する午後8時40分までの群集歩行を解析する。まず初期配置で高架橋上を3000人の人で一杯にし、その後海岸側から階段部分に人を流入させる。この間、階段を上る人、下りる人はそれぞれ右側通行をしており、第二段階では、この階段部分における群集歩行をも考慮して解析を行った。

最終ステップ100秒後において、各要素に作用する F_i, F_b の和をコンターで示したものが図4である。群集密度は第一段階とほぼ変化ないにも関わらず、群集に作用する負荷は第一段階より総体的に増大し、また第一段階でそれ程でもなかった階段入り口付近で大きな負荷が作用していたことが分かった。

6. 結論

第一段階、第二段階を通じて要素に最大の負荷を作用させる最も危険なエリアは高架橋が右折する場所から手前10m付近であった。この場所は実際に将棋倒し事故が発生した場所とほぼ一致している。また、この場所以外に第一段階における看板付近、第二段階における階段入り口付近などでも要素に大きな負荷が作用していることがわかった。これらの場所では事故は発生していないが、このあたりの場所にも大きな危険性があることを示唆している。今後こういった群集歩行において事故の発生を予期し、それを未然に防ぐような対策に本手法が活用できるよう改良を加えてゆく予定である。

参考文献：

- 1) 清野純史：京都市防災への提言，平成10年度京都市防災対策調査研究助成金交付事業、1999。
- 2) 竹内徹：避難シミュレーションによる地下街の安全性評価に関する研究，京都大学修士論文、2000。

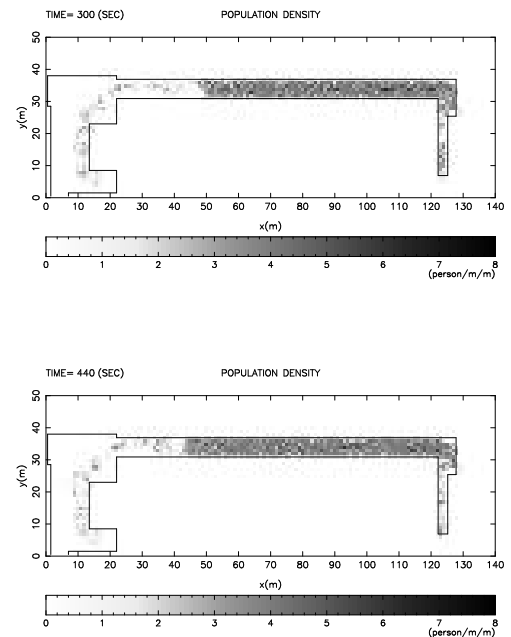


図2: 第一段階における群集密度時刻歴 (その2)

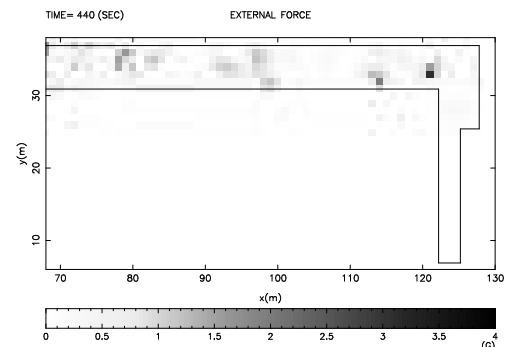


図3: 第一段階で各要素に作用する負荷

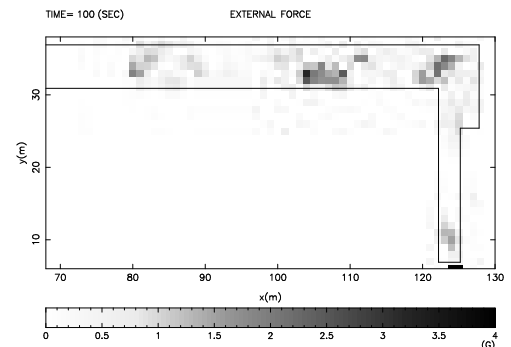


図4: 第二段階で各要素に作用する負荷