

論文の内容の要旨

論文題目 高速列車通過時に全覆上家駅で発生する圧力変動評価および
階段・エスカレータで発生する列車風評価に関する研究

氏 名 原口 圭

列車が通過する際には列車通過時圧力変動（以下、「圧力変動」という）が発生し、駅ホーム空間や駅舎内の内装材の割れや落下等を引き起こす場合がある。圧力変動は特に高速で列車が通過する新幹線駅舎で問題となることが多い。圧力変動は列車が通過する度に繰り返し発生し、長期間継続するため、内装材の割れやビスの緩み、落下などの非構造部材の不具合につながっている。更に、エスカレータの断面が絞られている箇所では、列車風が発生している駅もあることから、圧力変動や列車風対策の検討は旅客の安全確保上も必要不可欠である。

今後の列車速度向上に伴い、圧力変動に伴う内壁や天井などの仕上げ材の耐久性評価が不可欠となる。仕上げ材の耐久性評価に必要なのは、作用荷重および繰返し数であり、圧力変動の最大値を予測することができれば、仕上げ材への作用荷重が算出でき、列車通過本数から仕上げ材の耐久性評価が可能となる。そこで、本研究では、数値解析上の理論および圧力変動測定結果から、シェルター区間である全覆上家駅における圧力変動の最大値を予測するために簡易な評価式を構築することを目的とする。特にシェルター区間特有の開口率の影響について検討し、評価式に反映する。

また、今後の列車速度向上に伴い、階段・エスカレータ部（以下、「階段部等」という）で発生する列車風に対しての旅客の安全性評価も不可欠となる。そこで、本研究では、既存駅の階段部等を対象とし、安全性評価をする上で必要となる列車風を予測するために、圧力変動測定結果を用いて評価することも目的とする。特に列車風が大きいコンコース階がホーム階の上にある駅（以下、「橋上駅」という）を対象として列車風低減対策を提案し、対策時の列車風の予測手法についても検討する。また、安全性評価に風速の時刻歴データが必要であるが、風速最大値から安全性を評価する方法についても検討する。

第 1 章では、本研究の対象とする全覆上家駅で発生する圧力変動評価および階段部等で発生する列車風評価の必要性について述べるとともに、既往の研究を整理して本研究の目的および位置づけを明らかにした。

第 2 章では、全覆上家駅の圧力変動について、断面内で一様な次元成分と列車からの距離に依存する三次元成分とに分離して評価する方法について検討した。実測結果につい

て、一次元成分と三次元成分の分離を試み、実測から得られた開口率の影響や数値解析上の理論を踏まえ、両者の単純和による圧力変動最大値の評価式を提案した。第 2 章で得られた知見は以下のようにまとめることができる。

- 1) 全覆上家駅の圧力変動の特性として、後尾部通過時よりも先頭部通過時の方が大きいこと、特定の駅において、開口率と圧力係数最大値は線形関係であること、駅舎断面積が小さくなると圧力変動は大きくなるという知見を得た。また、圧力変動は速度の 2 乗に比例し、明かり区間同様の評価式を適用できることを確認した。
- 2) 小断面の全覆上家駅の圧力変動について、対面で測定することによって、断面内で一様な一次元成分と列車からの距離に依存する三次元成分の分離を試みた。その結果、波形の形状から両者に分離できること、圧力変動最大値を評価する上で、一次元成分が支配的であり、遠隔側は近接側よりもより支配的であること、開口率が大きくなるほどその影響は小さくなるという知見を得た。
- 3) 圧力変動最大値を単純和で評価するために、圧力変動最大値発生時の一次元成分および三次元成分との和からなる評価式の構築を試みた。一次元成分最大値については、開口率と一次元成分の圧力係数最大値 $R(2-R)$ とは線形関係になるという知見を得た。その関係から評価式を導き、その結果、車両種別に依存しないこと、1 割程度の誤差で評価できることを確認した。また、圧力変動最大値発生時の一次元成分と一次元成分最大値との比率 α は車種や開口率に依存せず、ほぼ一定値になることを確認した。ただし、 α は列車中心から壁面までの距離に依存し、小断面駅では近接側と遠隔側で異なり、遠隔側では圧力変動の最大値と一次元成分の最大値の発生時間は等しく、ほぼ 1.0 になることを確認した。
- 4) 三次元成分最大値について、列車中心から壁面までの距離の 2 乗に反比例すると仮定して車両種別ごとに評価式を導いた。その結果、開口率の影響は小さいこと、2 割程度の誤差で評価できることを確認した。また、圧力変動最大値発生時の三次元成分と三次元成分最大値との比率 β は車種や開口率に依存せず、ほぼ一定値になることを確認した。ただし、 α 同様に β は列車中心から壁面までの距離に依存し、小断面駅では近接側と遠隔側で異なることを確認した。
- 5) 車種の違いによる一次元成分と三次元成分の波形を比較した結果、一次元成分の圧力係数を $R(2-R)$ で除したものは、最大値だけではなく、波形の形状も同じであることを確認した。一方、三次元成分の圧力係数は最大値に加えて、波形形状も異なることを確認した。
- 6) 一次元成分と三次元成分との和からなる圧力変動最大値の評価式について、小断面駅については 1 割程度、大断面駅でも 2 割程度の誤差で評価できることを確認した。ただし、大断面駅の遠隔側では誤差が大きくなり、列車中心からの距離は 14m 程度が適用限界であることを確認した。

第3章では、既存駅の階段部等で発生する列車風について、圧力変動測定結果から風速最大値を予測する評価式の提案を行い、提案した評価式の影響因子から列車風低減対策を提案するとともに、対策時の風速最大値を予測する手法について検討した。また、風速最大値から人体に対しての安全性を評価する手法についても検討した。第3章で得られた知見は以下のようにまとめることができる。

- 1) 階段部等で発生する列車風を評価するにあたり、一様な太さの管路の中の非定常流と仮定した、圧力差と管路長さをパラメータとする評価式に着目した。高架下駅で圧力変動と風速の実測を行い、風速の時刻歴波形と圧力差成分値の時刻歴波形について、波形が相似していることを確認した。また、階段部等の風速最大値は圧力差積分値最大値に比例し、管路長さに反比例する傾向を確認し、列車風低減対策として管路長さの延伸を提案した。
- 2) 橋上駅のエスカレータにシェルターを設置して管路を形成し、圧力損失を考慮しなくても実用上問題ないこと、管路が長くなるほど列車風が低減すること、管路端部の圧力変動から評価式を用いて先頭部通過時の列車風最大値を2割程度の誤差で予測できることを確認した。一方、後尾部通過時は誤差が大きくなった。ただし、先頭部通過時と後尾部通過時の列車風最大値を比較すると先頭部通過時の方が大きく、列車風最大値を評価する上で先頭部通過時が予測できれば問題ないことを確認した。
- 3) 橋上駅のエスカレータにシェルターを増設する場合、列車風最大値は管路長さの概ね -0.7 乗に比例することを確認した。
- 4) シェルターが無い状態でも、シェルターを設置した際に端部となる位置で圧力変動を測定すれば、圧力差積分値最大値とシェルター長さからシェルター設置時の列車風最大値を2割程度の誤差で予測できることを確認した。また、列車風最大値は列車速度に概ね比例することを確認した。
- 5) 人間工学的な見地から列車風により人体が受ける力学的影響を加味した列車風の安全性評価法を橋上駅3駅の風速測定結果に対して適用した。その結果、風速最大値 9m/s 以下であれば、床荷重水平成分最大値が基準値である 30N 以下となることを確認した。

第4章では、第2、3章で得た知見をまとめるとともに、今後の研究課題として以下が残されていることを述べた。

- 1) 本研究では、一次元補正係数 α および三次元補正係数 β と列車中心から壁面までの距離 r との関係性までは解明できなかったことから、汎用性の拡大を図るためには両者の関係を定式化することが今後の課題である。
- 2) 本研究では、小断面積を対象として測定を行い、簡易評価式を提案しているため、大断面駅では小断面駅と比較して誤差が大きくなる。そのため、対面での測定事例を増やすことによって、大断面駅での圧力変動評価式の精度を向上させることが今後の課題である。

- 3) 本研究では、全覆上家駅において、階段やエスカレータが設置されておらず、開口量が一定の箇所を対象として圧力変動評価式を提案している。そのため、汎用性の拡大を図るためには階段やエスカレータが設置されている箇所においても圧力変動評価式を構築することが今後の課題である。
- 4) 本研究では、開口部を対象に設置されている駅を対象として圧力変動評価式を提案している。改修工事では開口部を非対象に設置した事例もあることから、汎用性の拡大を図るためには開口部を非対象に設置した場合の圧力変動評価式を構築することが今後の課題である。
- 5) 本研究では、既設駅の改修を対象とし、ホーム階やコンコース階の圧力変動は実測により既知であることを前提にして列車風を評価している。そのため、実測データが無い新駅的设计へも適用拡大を図るためには、ホーム階やコンコース階の圧力変動の予測手法確立が今後の課題である。