

高速列車走行に伴う駅部の圧力変動予測システムの開発とその適用

○峯岸 明弘 田中 憲司 (鉄道・運輸機構)

武居 泰 伊積 康彦 (鉄道総研)

Development of "Pressure variation forecast system of station according to high speed train" and application.

Akihiro Minegishi (Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency)

Kenji Tanaka (Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency)

Yasushi Takei (Railway Technical Research Institute)

Yasuhiko Izumi (Railway Technical Research Institute)

When a Shinkansen train passes a station, positive and negative pressures are generated. It causes pressure variation and acts as a load on the building members of platform repeatedly. The higher the pressure variation is, the more damage it gives to the building members. As a method for reduction of the pressure variation, it is effective to make some slits in walls along the platform. We developed the system for the calculation of pressure variation, which can be simply used in the design phase. The system has made it possible to examine area ratio and position of the slits easily. This report introduces contents of the development of the system and examples of its application.

キーワード：高速列車，全覆旅客上家，圧力変動予測，開口率，駅舎設計

Key Words : high-speed train, whole covering shed, pressure variation forecast, ratio of slit, station design

1. はじめに

現在整備新幹線は北海道・東北・北陸・九州で建設中であり，開業を数年後に控えた東北や九州新幹線では建築工事が始まっている．駅舎の設計において東北新幹線は，多雪地域対策によるホームへの雪の吹き込み防止，線路上への積雪防止などからホーム旅客上家は軌道上にも屋根を掛ける全覆旅客上家を採用している．(図1参照)

また九州新幹線においても強風時のホームへの雨の吹き込み対策等サービスの向上から，軌道側への軒の出を大きくする設計を行うこととしている．



図1 全覆旅客上家

しかし，このような全覆旅客上家等の半密閉区間を高速列車が通過する際，進入時と退出時に正，負の圧力変動が生じ，駅施設の構成部材への繰返し荷重として作用し，部材の劣化を促進する要因となる．(図2参照) また，階段・エスカレーター等の狭隘な空間では，圧力差により強風が発生する場合があります，旅客への安全や快適性の面から対策が必要となる．

圧力変動の低減対策としては，換気ガラリなど開口部を線路階に設けることが有効であるが，従来は具体的な指標がなく経験により開口部を設定しており，駅舎の条件などによっては不具合が発生することもあった．そこで，設計時の基本計画段階に簡易に用いることが可能な圧力変動予測システム(以下「システム」という．)を開発した．ここでは，そのシステムの概要とシステムを利用した駅舎設計への適用事例について報告する．



図2 圧力変動の弊害

2. システムの概要

システムの開発に当たっては、解析モデルの作成および出力は全てパソコン上で実行することを前提に図3に示すフローで構成することとした。

作業の手順は以下の通りである。

- ① 駅図面を画像データとしてパソコン上に取り込み、構造物諸元を設定し解析モデルを作成する。
- ② 通過する列車の諸元を入力する。
- ③ 線路階の圧力変動を数値解析により求める。
- ④ コンコースと線路階を繋ぐ階段・ESC部の線路階側端部の圧力変動を境界条件とし、コンコース階の圧力変動および階段・ESC部の風速を数値解析により求める。
- ⑤ 結果を画面上に出力するとともに、必要なデータをファイルに出力する。

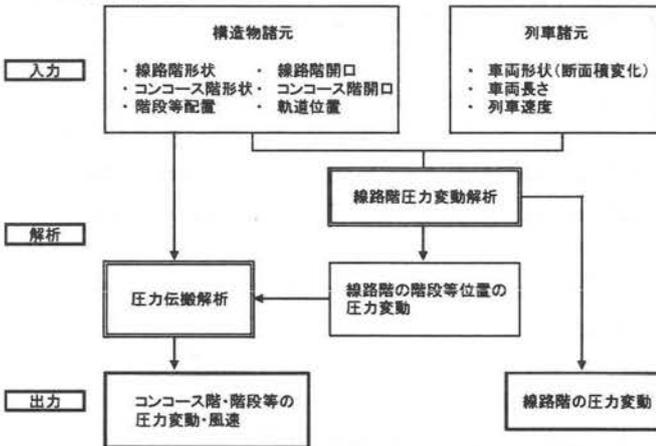


図3 圧力変動予測システムの全体フロー

3. 解析手法

3.1 線路階の圧力変動解析

流体に関する基礎方程式 (ポテンシャル流れの基礎式) を仮定し、駅舎の壁面、列車の先頭・後尾などで、それぞれ境界条件を設定する。空間をメッシュ分割し、境界条件のもとで基礎式を差分法により解き²⁾、計算された速度ポテンシャルから駅舎内の圧力を求める。なお、開口部 (スリット部) の境界条件として、ポテンシャルで規定する場合 (明かり条件) とベルヌーイの定理から計算された流速で規定する場合 (スリット条件) の各条件で圧力を求め、双方を混合する。

混合比率は、模型実験³⁾結果を参考に開口量が多い場合は明かり条件、少ない場合はスリット条件の比率が高くなるように設定した。実際の駅舎の断面は線路方向に一定ではないが、簡易的に列車周りの圧力を定常解として求め、それが列車速度で移動すると仮定し、駅舎内の定点における圧力時刻波形を求めることとした。

3.2 コンコース階の圧力伝播解析

コンコース階 (階段・ESCを含む) を複数のブロックに分割し、各ブロックを1次元のチューブと仮定し、全体を管路網としてモデル化する。トンネル内の圧力変動解析と同様の非定常1次元流れの基礎方程式を仮定し⁴⁾、出入

口、断面変化部、分岐点における境界条件のもと、特性曲線法により圧力と流速を計算する⁵⁾。線路階とコンコース階を繋ぐ階段・ESCの線路階側端部では、3-1で計算した線路階の圧力変動解析結果を境界条件として用いる。

3.3 解析手法の有効性

システムの有効性を確認するため、既存新幹線駅舎 (3駅) をモデル化し解析を行い、現地実測データと解析値とを比較し検証した。線路階における圧力変動波形の特徴は、予測地点を列車先頭部が通過する前から圧力が正圧側に上昇し始め、通過時に最大となり、後尾部が通過する際に負圧側の最大値が生じる。実測値と解析値との大きな乖離は見られず、本システムは有効であるといえる。(図4参照)

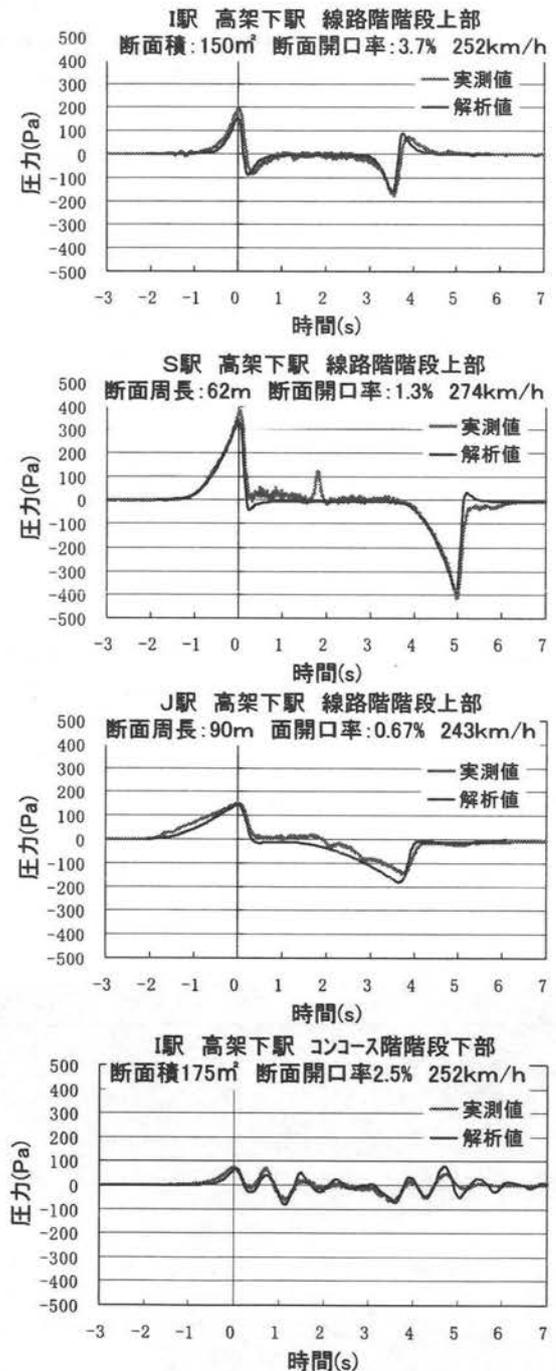


図-4 実測値と解析値の比較

4. 新幹線駅舎の設計への適用

4.1 解析条件

新幹線 A 駅への設計への適用事例を以下に紹介する。線路階の構造物諸元および列車諸元を表 1 に示す。線路階の断面形状を図 5、システムによる解析モデルを図 6、図 7 に示す。

表 1 構造物諸元・列車諸元

項目	内容・数値
駅形式	橋上駅タイプ
旅客上家	全覆タイプ
線路階断面周長	60.6m
線路階断面積	164.9 m ²
吹き抜け部階段	長さ 10m・周長 40m
ESC	長さ 2m・周長 11m
車両断面積	11.2 m ²
列車長	10 両編成・長さ 250m
列車速度	260 k m/h

解析の条件としては、屋根および外壁上部に開口を設置する前提で、圧力の予測地点はホーム上の外壁下部とし、線路階の断面開口率の違いによる圧力変動を解析する。

圧力変動の目標ピーク値は、200Pa から 300Pa の範囲とする。なお、当システムで用いる断面開口率は構造物の断面周長に対する有効開口長の比をいう。

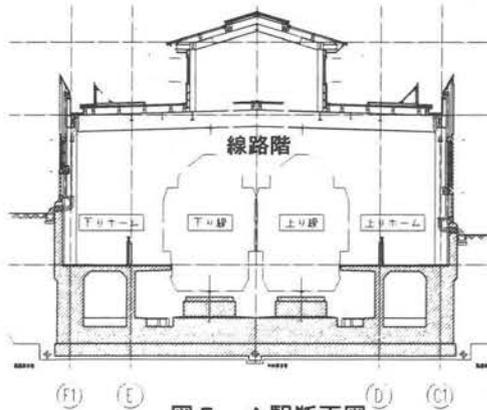


図 5 A 駅断面図

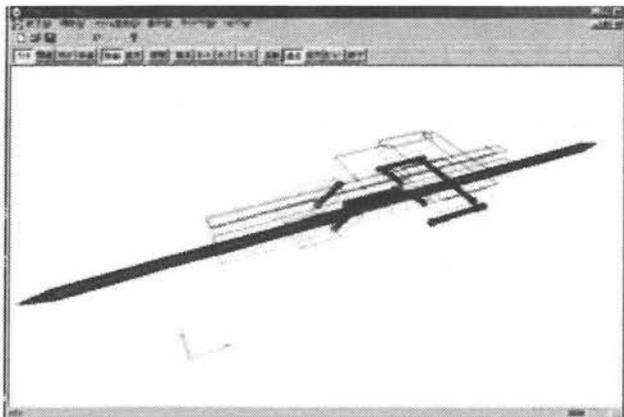


図 6 解析モデル図 (全体)

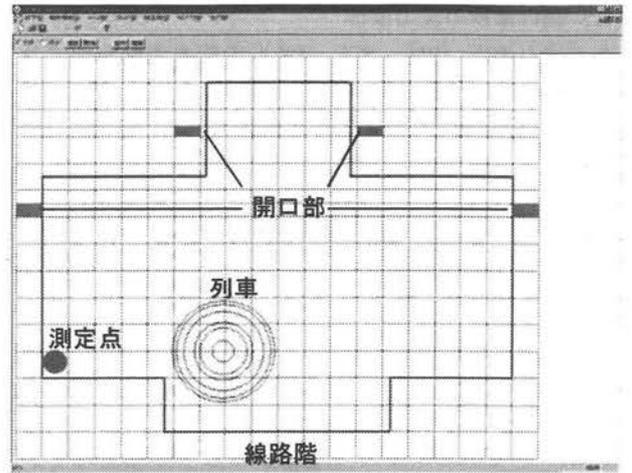


図 7 解析モデル図 (断面図)

4.2 解析結果

(1) 圧力変動の分布

断面開口率を 2%、3%、4% とそれぞれ設定した解析の結果、いずれのケースにおいても、列車先頭付近を中心に圧力場が形成されている様子がわかった。以下に断面開口率 3% のケースの解析結果を示す。(図 8・9 参照)

図 8 に示すように、列車先頭部の正圧の圧力場のすぐ後方には負圧の圧力場が形成されている様子がわかる。

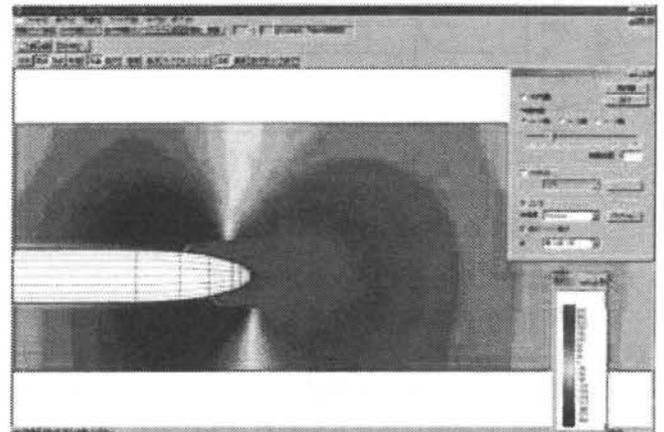


図 8 圧力分布図 (先頭車付近平面図)

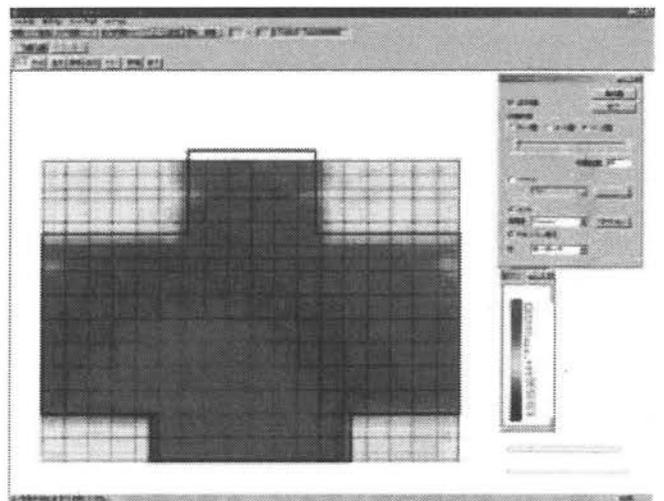


図 9 圧力分布図 (先頭車付近断面図)

(2) 開口率別の圧力波形

断面開口率別 (2%, 3%, 4%) の圧力変動波形グラフを図 10 に示す。断面開口率 2% の場合、正圧、負圧ピーク値はともに 300Pa を超える値が解析された。断面開口率を大きくすると圧力ピーク値は下がることがわかった。

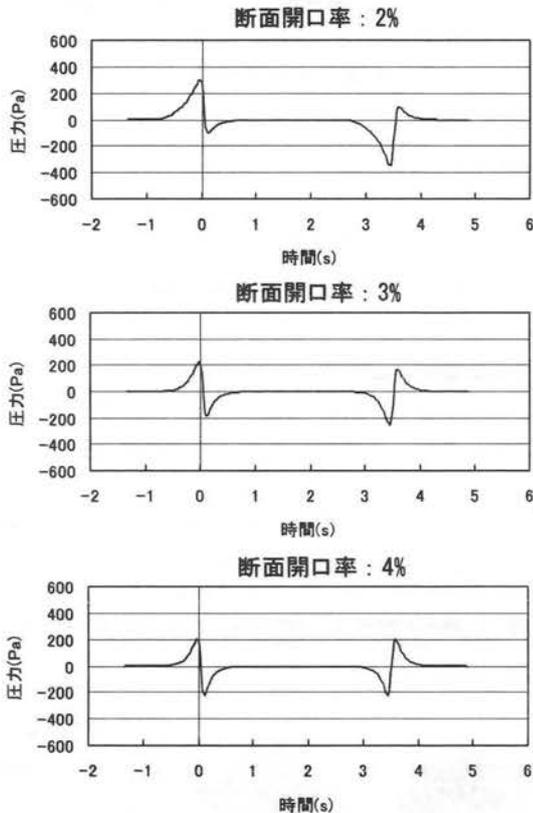


図 10 断面開口率別の圧力変動波形

(3) 断面開口率と圧力ピーク値の関係

断面開口率別の圧力ピーク値を比較すると、断面開口率が大きいほど圧力ピーク値は小さくなり、断面開口率と圧力ピーク値はおおむね比例関係にあることがわかった。また、線路階の断面開口率をおおむね 3% にすると、目標値に近い圧力変動となることが明らかとなった。(図 11 参照)

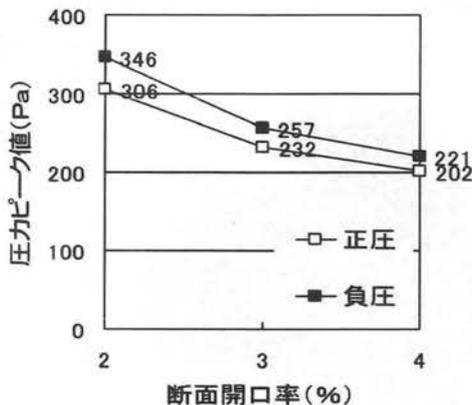


図 11 断面開口率と圧力ピーク値の関係

4.3 線路階開口部の設定

以上の解析結果を踏まえ、雨、雪の吹き込み、騒音対策およびコスト等の条件と使用部位の違いから 2 種類のガラリ (開口率 25% と 35%) を用い、図 12 に示すように設置することとした。これにより、目標断面開口率の 3% がおおむね確保できたことにより圧力変動ピーク値がコントロールできたこととなる。

断面開口率のチェック

ガラリ開口率 25% × 開口長さ 3,970 = 992.5mm
 ガラリ開口率 35% × 開口部長さ 2,180 = 763.0mm
 合計有効長 Σ = 1,755.5mm
 断面開口率 = 1,755.5 / 60,600 (断面周長) \approx 2.9%

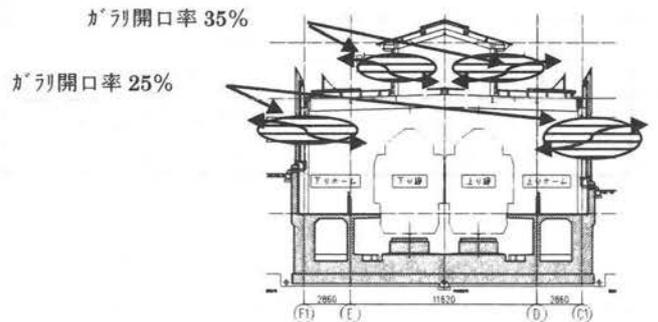


図 12 旅客上家開口設計

5. まとめ

高速列車走行に伴う駅部の圧力変動予測システムを開発し、全覆旅客上家を持つ駅舎設計に適用した。

システムを用いることにより、圧力変動を目標値以下に抑えるために必要な線路階の開口を適切に設定できるようになった。今後は工事完了後、新幹線の試験運転時に実測を行いシステムのフォローアップを行うこととしたい。

謝辞：新幹線駅舎での各種データ測定は、JR 東日本のご協力を、また当システム作成の際には、鉄道総研空気力学研究室と(株)構造計画研究所のご協力を頂きました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 今井功：流体力学 (前編)、裳華房、pp.84-85、1973
- 2) パトリック・J・ローチェ：コンピュータによる流体力学 (上)、構造計画研究所、pp.25-38、1978
- 3) 武居泰、伊積康彦ほか：駅における高速列車通過時の圧力変動と部材への影響評価法、鉄道総研報告、Vol.21、No.8、pp.53-58、2007
- 4) 山本彬也：新幹線トンネルの圧力変動・空気抵抗・トンネル換気、鉄道技術研究報告、No.871、pp.7-9、1973
- 5) 梶山博司、飯田雅宣、前田達夫：大深度地下鉄道の空気流動シミュレーション、鉄道総研報告、Vol.7、No.7、pp.51-58、1993