

列車風のホーム上ならびに 駅舎内での影響



村木 克行*



岩崎 和明**



星川 努**



及川 仁一***



原口 圭****



林 篤*****

列車が高速で駅を通過する際、列車近傍で発生する風（列車風）により、特に通過線のない駅のホーム上で大きな風速が発生したり、ホーム階が屋根と壁に覆われている駅（以下「全覆い構造の上家駅」という）において駅舎内に急激な圧力変動が発生し、これにより駅舎内を強い風が吹き抜ける場合があり、これらによってホームまたは駅舎内で旅客が姿勢を崩し転倒する危険、駅舎内の壁面などの仕上材の割れや浮きなどの不具合が生じる可能性が懸念される。そこで、高速走行時の列車風について、旅客や駅舎への影響を実測により確認するとともに、列車速度、車両形状、開口率、開口部形状などをもとに駅舎内の圧力変動を評価する手法を考案し、その有効性を確認した。

●キーワード：列車風、ビューフォート風力階級、駅舎、圧力変動、圧力係数、開口率

1. はじめに

列車風の影響を検討するため、E954 形式新幹線高速試験電車が実際に通過線のない駅を通過した際のホーム上の列車風を測定し、風速が安全上許容できるレベルに収まっているかどうかを確認し、ホーム安全柵の嵩上げなど、列車風低減に向けた対策の必要性について検討する。

また、全覆い構造の上家駅に高速列車が進入した際に駅舎内に生じる圧力変動について、定量的な評価方法を確立するために、実駅舎での測定や、模型実験などを行い、これをもとに評価式を提案する。

2. 列車風の発生メカニズム

列車風の発生には2つのメカニズムがある。ひとつは、空気の粘性により、走行する列車の車体の移動に伴いまわりに生成される圧力変動（図1）によって生じる風で、もうひとつは、列車の先頭部通過時に生成される圧縮波によって生じる風である。前者は、明かり区間をはじめ多くの場所で一般的に観測され、後者は、トンネル内や全覆い構造の上家駅などで観測される。また、1回の列車通過で発生する列車風は、空気の流れにより図2に示す3つの様態に区分される¹⁾。

- ・湧出流：列車先頭部より前側方に排除される流れ
- ・境界層流：摩擦により列車側面に付着して流れる流れ
- ・伴流：列車後尾部の圧力低下部に流れ込む流れ

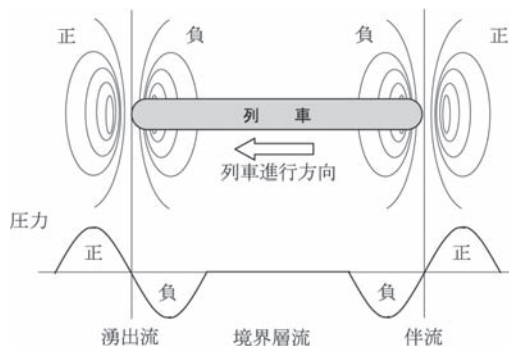


図1 空気の粘性による列車まわりの圧力場

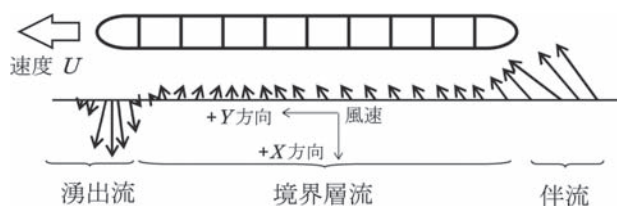


図2 列車風の様態

従来の研究では、境界層流は平板に沿う乱流境界層と同様に、列車の後方に行くにつれて境界層の厚みが増す傾向にあるため、境界層の風速分布は以下の式で近似されている¹⁾。式からもわかるように、列車風の風速は列車速度に比例して増大し、列車側面から離れるに従い減衰する傾向を示す。図3は参考文献3に示された実測例である。

$$u = U \left[1 - \left(\frac{y}{\delta} \right)^{1/n} \right] \quad \delta = aX^m \quad \dots (1)$$

u ：列車風の風速 U ：列車速度
 y ：列車側面からの離れ X ：先頭部からの距離
 n, m, a ：列車種別により異なる定数

* JR東日本研究開発センター 安全研究所
 ** JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所
 *** 運輸車両部（元 安全研究所）
 **** 設備部（元 フロンティアサービス研究所）
 ***** 株式会社ジェイアール東日本建築設計事務所
 （元 フロンティアサービス研究所）

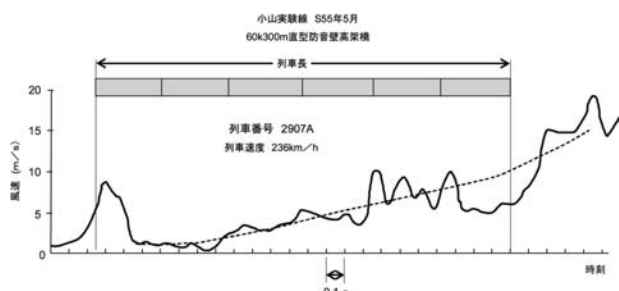


図3 列車風の実測例

3. 列車風に対する安全上の指標と対策

旅客の安全に対する指標として、国鉄時代に以下の値が示され、風速がこれを超えないよう、新幹線ではホーム縁端からの待避幅の確保やホーム安全柵の設置などの対策がなされてきた³⁾。図4、図5はそれぞれ参考文献3に示された、ホーム縁端からの距離と風速の関係の実測例、安全柵による減風対策の検討例である。

ビューフォート風力階級 4～5程度 (風速6～9m/s程度)

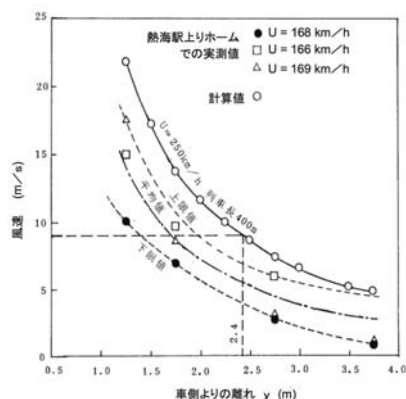


図4 ホーム縁端からの距離と風速の関係の実測

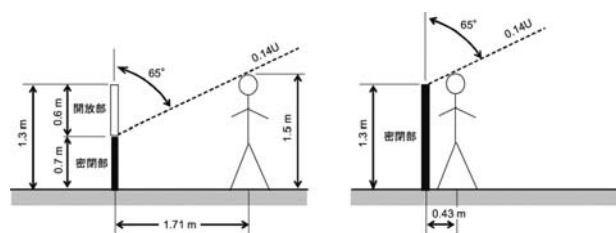


図5 安全柵による列車風低減の検討例

4. ホーム上での列車風の測定

前述の2つの発生メカニズムから、図6に示す駅ホームの上家構造の違いで列車風の吹き方が異なることが分かっている。そこで、開放構造の上家駅 (A 駅)、全覆い構造の上家駅 (B 駅) のそれぞれにおいて、E954 形式新幹線高速試験電車 (図7) が 300km/h を超える速度で通過する際の列車風の風速、風圧を測定した (図8)。



図6 ホーム上家構造の違い

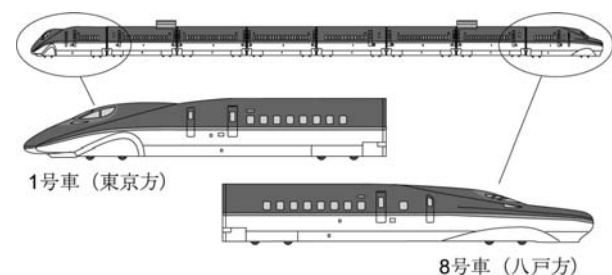


図7 E954形式新幹線高速試験電車



図8 風速測定状況 (左:A駅、右:B駅)

測定はホーム床面から 1.4m の高さ (B 駅は安全柵より少し高い 1.6m) で、列車からの離れ方向 (線路に直角な方向) に 4 台の超音波風速計を設置して行った。このうち旅客への影響を考えるうえで代表的な指標となると考えられる列車からの離れ約 2m の位置 (安全柵の位置) での風速、風圧の観測波形の例を図9、図10に示す。図9、図10より、風速の波形は時間とともに大きく変動しているが、最大風速

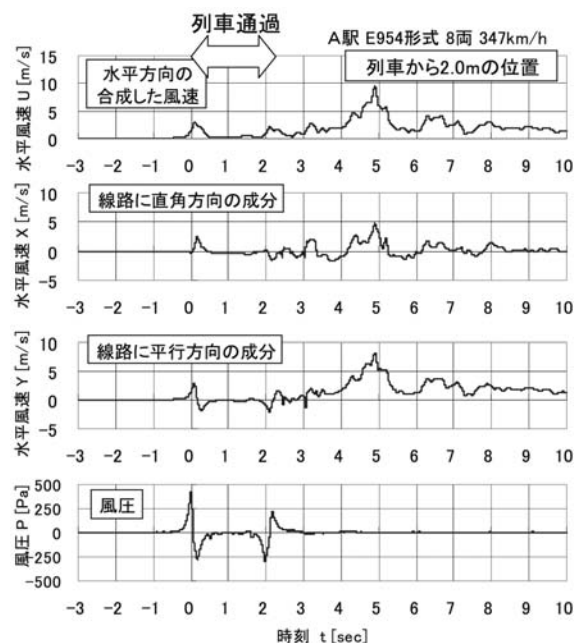


図9 開放構造駅 (A駅) での列車

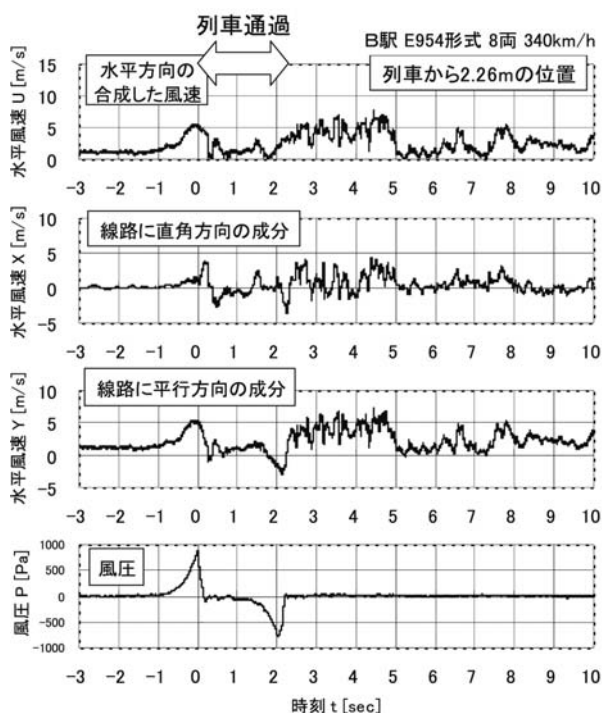


図10 全覆い構造駅（B駅）での列車風

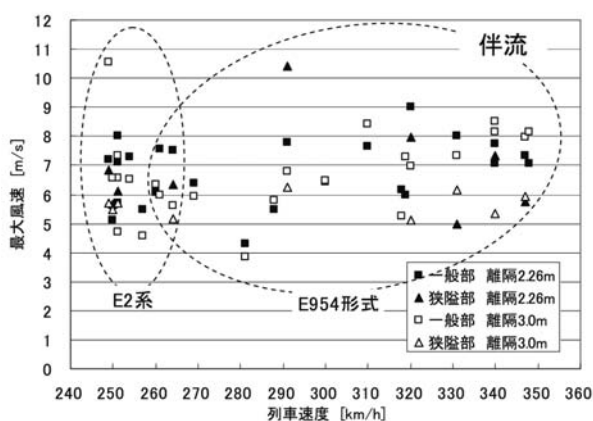


図11 列車速度と伴流の最大風速の関係（B駅）

はいずれも列車通過後の伴流で発生していることがわかる。

そこで、代表的な指標と見なせると考えられる伴流の最大風速と列車速度との関係をB駅を例に図11示す。図11より、今回の測定ではE954形式新幹線高速試験電車の350km/h程度の通過速度での最大風速は5～10m/s程度にとどまっており、これはE2系の営業列車（250～265km/h）と同程度の風速で、安全上の目安値6～9m/sを概ね満足することが確認された。また、2003年度に行った同様の測定結果⁴⁾との比較から、全覆い構造のB駅では、ホーム中央部壁面に通気口を増設したことにより駅舎内の圧力上昇が抑制され、これにより列車風が大きく低減していることもわかった（図12）。これらのことから、今回の測定結果を見る限りは、安全柵の嵩上げなどの列車風低減の対策の必要性は特になく考えられる。

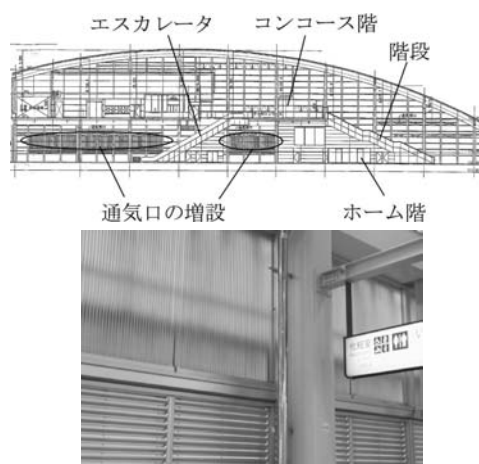


図12 通気口の増設（B駅）

5. 駅舎仕上材に対する影響

全覆い構造の上家駅（図13）に高速列車が進入した際には、駅舎内に圧力変動が生じる。この圧力変動によって、仕上材の割れや浮き、ビスの緩みなどの不具合を生じる可能性がある⁵⁾。圧力変動は開口部の増設により低減できることが分かっているが、定量的な評価手法が確立されていないため、影響因子を明らかにし、簡易算定式を提案する。



図13 全覆い構造の上家駅

6. 圧力変動の特徴

走行する列車の周りでは、図1に示すように圧力場が生じ、この圧力場は列車とともに移動するため、通過列車の近傍では圧力変動が観測される。全覆い構造の上家駅において測定された圧力変動波形の例を図14に示すが、全覆い構造の上家駅においては、先頭部通過時に正圧が発生し、後尾部通過時に負圧が発生するのが特徴である。

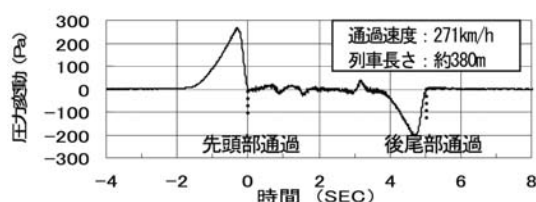


図14 全覆い構造の上家駅で観測された圧力変動波形

7. 圧力変動の評価

7.1 圧力変動に対する影響因子の評価

明かり区間（高架橋区間）では、圧力変動最大値は列車速度の2乗に比例する傾向を示すことが分かっており、次式で表すことができる⁶⁾。

$$P = 1/2 \rho V^2 C_p \quad \dots (2)$$

P：圧力変動最大値[Pa]

ρ ：空気密度[kg/m³]

V：列車速度[m/s]

C_p ：圧力係数

全覆い構造の上家駅舎内での圧力変動最大値についても、列車速度の2乗に比例することが確認されている⁷⁾。

圧力係数 C_p には、列車形状、駅舎断面積、開口率（駅舎断面周長に対する開口部長さの比率）、車両中心からの距離の影響が含まれる。実際の駅舎で計測されたE2系の圧力変動最大値より、(2)式より圧力係数を算定した。開口率と圧力係数の関係を図15に示すと、駅舎断面積に応じて開口率と圧力係数には直線的な相関関係が見られるため、この結果より開口率の影響を評価した。また列車形状の影響は、既往調査⁷⁾に基づき列車種別に応じて評価を行った。そのほかの影響因子は、既往研究⁸⁾の評価式に基づき、圧力変動最大値の簡易算定式を提案した。

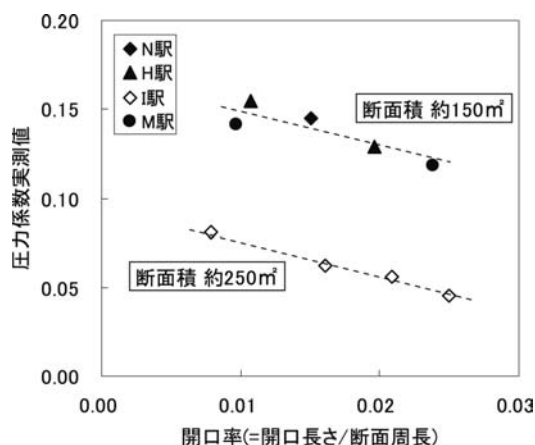


図15 実測された圧力係数と開口率の関係

7.2 実測値と評価式による算定値の比較

図16には全覆い構造の上家駅6駅の実測値より算定した圧力係数と、簡易算定式による圧力係数との比較を示す。実測値、算定値にはさまざまな列車速度や列車形状、断面積や開口部の大きさの異なる駅舎形状の結果を含むが、実測値と算定値はよく対応している。

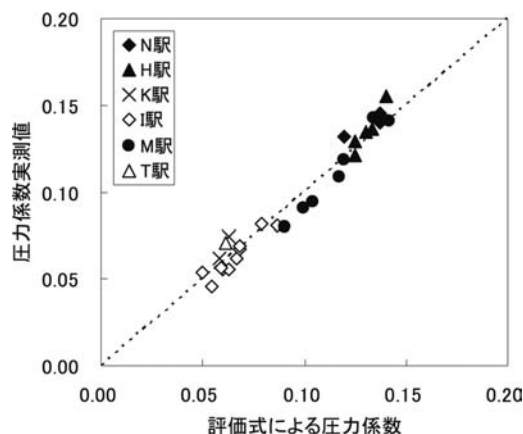


図16 圧力係数の実測値と算定値の比較

8. まとめ

ホーム上の列車風については、今回の測定では、E954形式新幹線高速試験電車が350km/h程度の速度で通過した場合に、これまでの安全上の目安値を上回るレベルの風速は観測されなかった。その一方で、観測波形からわかるように、列車風は時間とともに大きく変動していることから、旅客への姿勢保持に与える影響を最大瞬間風速だけで評価するには限界があるとも考えられる。今後は、身体を受風面積（安全柵が設置されている場合、柵より低い位置では風速は小さくなると考えられる）や風の作用時間なども考慮した、より妥当な評価指標の提案に向けた研究も必要と考える。

駅舎内の圧力変動については、今回の実測値や既往の研究に基づいて影響因子を評価し、圧力変動の簡易算定手法を提案した。この手法により、新幹線高速化に伴う圧力変動の増大値を推定し、圧力の低減に必要な開口部を算定可能である。算定結果に基づき新幹線高速化区間内の駅では、開口部を増設する工事を実施済みである⁷⁾。

参考文献

- 1) 種本勝二、梶山博司；列車通過時のホーム上の列車風と圧力変動、鉄道総研報告、Vol.17, No.11, 2003.11
- 2) 日本鉄道建設公団（現鉄道・運輸機構）第31回技術研究会「列車風による駅建物への影響に関する検討」平成7年
- 3) 堀江ほか；日本国有鉄道 鉄道技術研究所；東北新幹線における列車風に関する現地試験 鉄道技術研究所速報、1986.8
- 4) 安全研究所；新幹線高速走行試験における列車風の測定（二戸駅）報告書、平成15年7月
- 5) 山田真左和ほか；シェルター状駅建物における内壁仕上げ材の劣化に関する研究（その1）、日本建築学会学術講演梗概集、1998.9
- 6) 菊地勝浩ほか；三次元境界要素法による列車通過時の圧力変動解析、鉄道総研報告、Vol.10, No.2, 1996.2
- 7) 原口圭ほか；高速列車通過時の駅舎内に発生する圧力変動の評価、JR EAST Technical Review, No.14, 2006
- 8) 飯田雅宣ほか；開口部のあるチューブ内を走行する列車廻りの定常圧力場、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集、2005.10