

## 高速列車通過時の駅舎内に発生する圧力変動の評価



原口 圭\* 林 篤\* 野澤 伸一郎\*

列車が高速でホーム階が屋根と壁に覆われている駅（以下全覆上家駅）を通過する際には、駅舎内には圧力変動が発生する。今後計画されている新幹線の高速化に伴い圧力変動はさらに増大する可能性があるため、開口部を増設することによって圧力変動を低減することとした。その際に、圧力変動の定量的な評価手法を検討するために測定や模型実験を実施し、列車速度、車両形状、開口率、開口部形状によって圧力変動を評価できることを確認した。また、提案した評価手法に基づいて必要な開口率を算出し、新幹線高速走行試験区間内の駅において開口部を増設する改修工事を実施した。営業列車を対象に測定を実施した結果、概ね目標値通りに圧力変動が低減していることを確認した。

●キーワード：新幹線高速化、駅舎、圧力変動、圧力係数、開口率、騒音

### 1 はじめに

全覆上家駅（図1）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、過去に仕上材の割れや浮き、ビスの緩み等の不具合を生じていた<sup>1)</sup>。これらの不具合に対しては耐振動性のビスを用い、ゴムパッキンを挟んでアルミバーで固定する工法によって対策がとられ、その後は新たな不具合は生じていない。このように現状速度においてはほぼ対策が施されているが、今後計画されている新幹線高速化によって圧力変動はさらに増大する可能性があり、新幹線高速化時においても圧力変動を現状程度に抑える必要がある。圧力変動は開口部を増設することで低減することができ、最近開業した駅については圧力変動を考慮して東北・上越新幹



図1 全覆上家駅

線開業時の駅と比較しても開口率（開口長さ／駅舎断面周長）が大きくなっている（図2）。しかし、圧力変動の定量的な評価手法が確立されておらず、最近開業した駅においても開口率は大きく違っている。

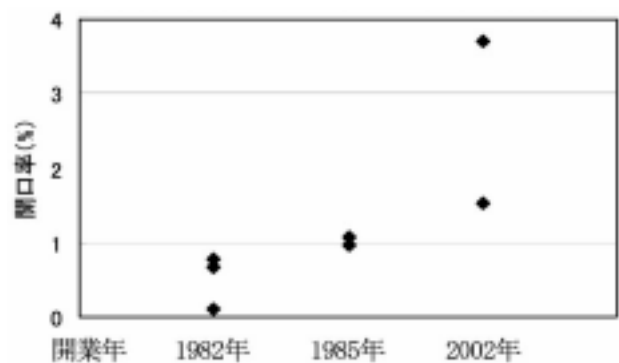


図2 開業年と開口率の関係

そこで、圧力変動の定量的な評価手法を検討するために測定や模型実験により開口率等の圧力変動に与える影響について確認するとともに、提案した評価手法に基づいて開口率を算出し、改修工事後に効果の確認を行ったので、その内容について報告する。

### 2 圧力変動の特徴

走行する列車の周りでは、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。全覆上家駅において測定された圧力

変動波形の例を図3に示すが、全覆上家駅においては、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。

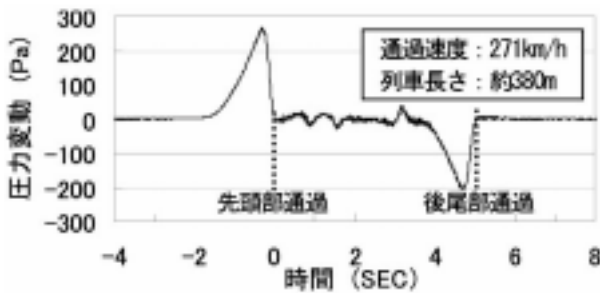


図3 全覆上家駅で観測された圧力変動波形

### 3 圧力変動の評価

#### 3.1 圧力変動の影響因子

圧力変動の影響因子としては列車速度、列車形状、駅舎断面積、車両中心からの距離、開口率、開口部形状等が考えられるが、今回は特定の駅におけるホーム側面付近の圧力変動を評価することとし、列車速度、列車形状、開口率、開口部形状の影響について把握した。

#### 3.2 列車速度の影響

明かり区間（高架橋区間）においては、圧力変動の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<sup>2)</sup>。

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

P：圧力変動の最大値[Pa]

$\rho$ ：空気密度[kg/m<sup>3</sup>]

V：列車速度[m/s]

$C_p$ ：圧力係数

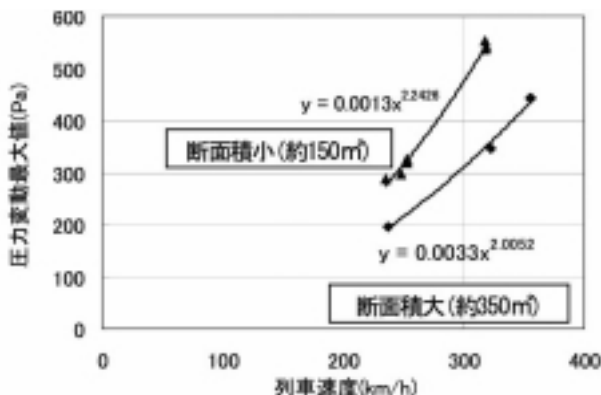


図4 列車速度と圧力変動の関係

なお、空気密度  $\rho$  は温度や気圧に依存する。図4には全覆上家駅2駅で観測された列車速度と圧力変動の最大値との関係を示すが、圧力変動はほぼ列車速度の2乗に比例しており、全覆上家駅でも式(1)が成立すると考えられる。従って、特定の駅において圧力係数を評価することができれば、圧力変動を予測することが可能となる。

#### 3.3 列車形状の影響

明かり区間においては、圧力係数は列車断面積に比例する特性があることが分かっている<sup>3)</sup>。また、同様に明かり区間において、列車断面積を一定にし、列車先頭部を変化させて圧力係数を解析した事例がある<sup>4)</sup>。表1に列車中心から10m離れた地点における圧力係数の先頭形状による低減率を示す。

この知見に基づき、測定が可能な営業車両Aに対する高速走行試験車両（以下試験車両）の圧力係数低減率を予測した。先頭部形状については線形補完して低減率を算出している。全覆上家駅でも上記の特性が成立すると仮定して計算した結果、試験車両は車両Aに対して約0.85の低減率となった（表2）。

表1 先頭形状による圧力係数の低減効果<sup>5)</sup>

L=5m	L=10m	L=15m
1	0.928	0.838

※列車中心から10m地点

表2 高速走行試験車両の圧力係数低減率

車種	断面積 (m <sup>2</sup> )	先頭部長さ (m)	圧力係数低減率
営業車両A	11.22	9	1
試験車両	10.8	16	0.835

※列車中心から10m地点

#### 3.4 開口率の影響

図5に全覆上家駅の開口率と最大圧力係数の関係を示す。前述のように開口率は駅舎断面周長に対する開口長さの比率のことである。ガラリが設置されている場合は有効開口率を考慮する。測定位置はすべて通過線側のホーム側面付近とし、対象とした列車はすべて営業車両Aとした。図より駅舎断面積が小さいほど圧力係数が大きくなり、開口率が大きいほど圧力係数は小さくなることが分かる。また、断面積小のグループはほぼ同断面積で

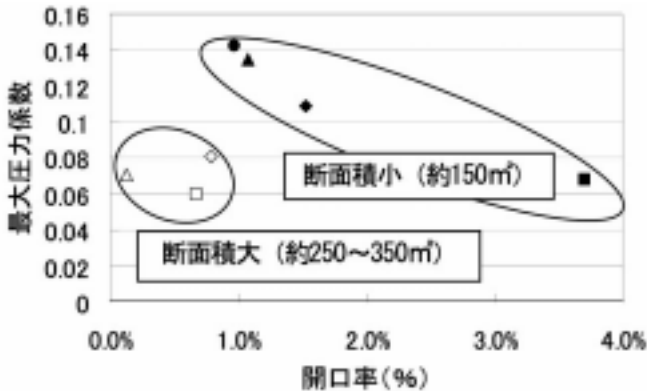


図5 開口率と圧力係数の関係

あるが、開口率と圧力係数にはほぼ直線的な相関関係が見られる。つまり、特定の駅において開口率を変化させて圧力変動を測定することができれば、圧力変動の評価が可能となる。

### 3.5 開口部形状の影響

#### 3.5.1 開口部形状

高速列車通過時の圧力変動を所定の値以内に抑制するためには、相当量の開口部を増設する必要があるため、有効開口率の低いガラリでは必要開口率の確保が難しいことが予想された。図6のケース1のような開口部であれば、必要開口率を確保しやすくなるが、雨や雪の吹込みを防止するために、ケース2のように開口部に垂れ壁等を設置する必要がある。しかし、垂れ壁によって圧力変動の低減効果が小さくなることが予想されたため、ケース2について模型実験を実施し、ケース1の結果<sup>5)</sup>と比較した。



図6 開口部形状

#### 3.5.2 模型実験概要

模型実験は微気圧波模型試験装置(図7)を使用し、軸対称の模型列車を駅舎模型に突入させて行った。縮尺を1/90とし、駅舎は断面積約170m<sup>2</sup>、長さ180m程度の通過線の無いタイプの全覆上家駅を模擬し、列車は営業車両Aを模擬した。開口部は片側に設け、3%の開口率を確保

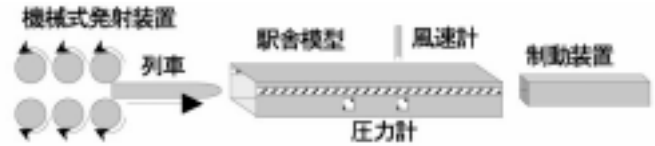


図7 微気圧波模型実験装置略図

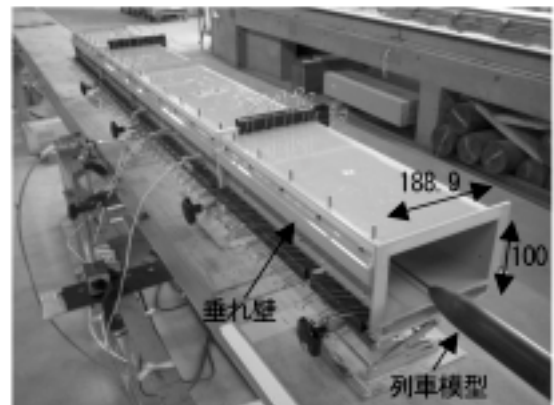


図8 ケース2実験状況

している。図8にケース2の実験状況写真を示す。各ケースについて3種類の速度で列車を駅舎に突入させ、通過線側の壁3箇所で圧力変動の測定を行った。

#### 3.5.3 模型実験結果

図9に通過速度325km/hの圧力変動の波形を示す。垂れ壁を設けたケース2の方で圧力変動が大きくなっており、圧力変動の低減効果が小さくなっていることが分かる。また、図の○印で示す箇所に圧縮波や膨張波、その反射波が発生している。圧縮波は列車先頭部がトンネル等の閉鎖空間に突入する際に発生する波で、微気圧波の原因となるものである。後尾部突入時には膨張波が発生し、圧縮波、膨張波とも音速で伝播し、トンネル出入口で反射を繰り返す。全覆上家駅でも開口率の低い駅で発生することが分かっている。そこで、圧縮波や膨張波の影響の小さい測定点のデータで評価することにした。図10には最大圧力係数の比率(ケース2/ケース1)を示す。

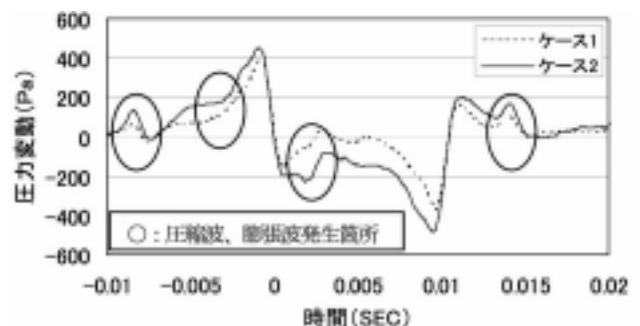


図9 圧力変動波形(325km/h)

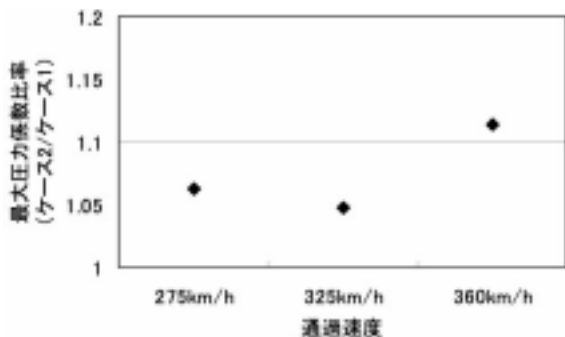


図10 最大圧力係数比率 (ケース2/ケース1)

図より開口部に垂れ壁を設けることで5%~15%程度圧力係数が增大することが分かる。そこで、垂れ壁を設置する場合には15%の圧力係数増大を考慮することにした。

### 3.6 目標開口率の算出

以上32項~35項より列車速度、列車形状、開口率、開口形状等により圧力変動を評価することが可能となるが、駅舎改修時に必要となるのは目標開口率であり、図11に示すフローに従って目標開口率を算出することができる。

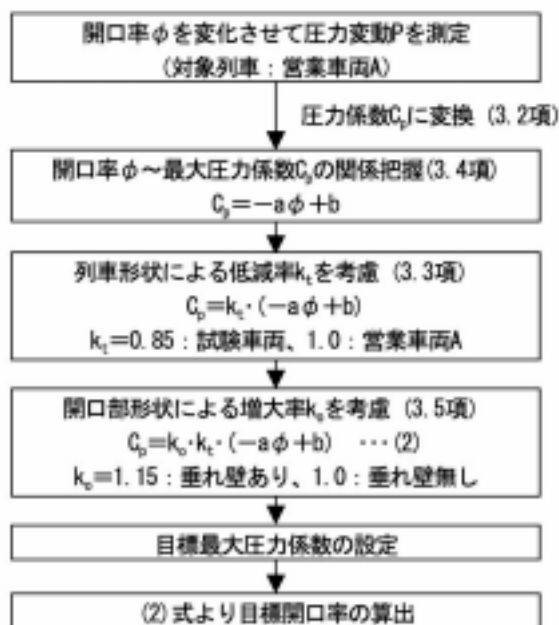
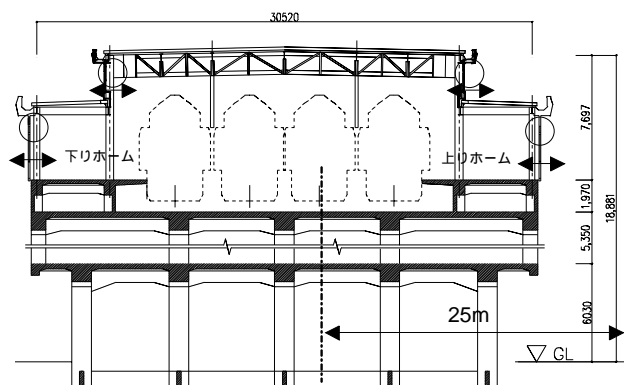


図11 目標開口率算出フロー

## 4 開口部増設による改修工事

### 4.1 事前測定および目標開口率の算出

高速走行試験区間内のI駅について高速化時の圧力変動低減を目的として開口部を増設する改修工事を実施することにした。改修工事にあたり、開口率と圧力係数の関係を把握するために、開口率を変化させて測定を実施した。I駅は断面積246m<sup>2</sup>、周長80.5mの通過線を有する全長406mの全覆上家駅であり、屋根に段差がありホーム上の屋根高さよりも軌道上の屋根高さが高くなっているのが特徴である。ホーム階断面図を図12、平面図を図13に示す。既存の開口部はガラリのみで (図中○印)、引き違い窓を開閉して開口率を変化させた。表3に測定ケースを示す。測定は、上りホーム上の壁側3箇所 (図11参照) に圧力計を設置し、DAT収録データをサンプリング周波数100HzでAD変換した後に正圧と負圧の最大値を読み取った。スピードガンにより通過速度も測定し、式(1)を用いて最大圧力係数を算出した。なお、対象通過列車はすべて営業車両Aとした。圧力変動はP1で最も大きくなり、図14に開口率と最大圧力係数 (P1) の関係を示す。開口率と最大圧力係数には直線的な相関がある。目標とする最大圧力係数は開業後に不具合が発生していない駅の中



：ガラリ ←→：引き違い窓 外部騒音測定地点

図12 I駅断面図



図13 I駅平面図



表3 測定ケース

ケース	開口率	窓開閉状態
1	0.79%	窓全閉
2	1.61%	上部窓一部開
3	2.09%	上部窓全開
4	2.5%	下部窓全開

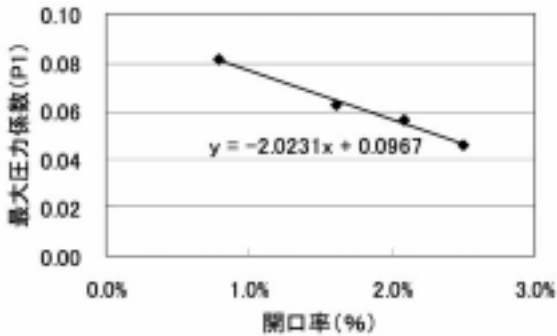


図14 開口率と圧力係数の関係 (I 駅)

で圧力変動の最も大きいN駅を参考に設定した。ただし、将来の高速化時においてもその圧力変動を上回ることが無いように補正した。

- N駅最大圧力係数 : 0.1076
- N駅最高通過速度 : 260km/h
- I駅最高通過速度 (計画) : 360km/h
- I駅目標最大圧力係数:  $0.1076 \times (260/360) = 0.056$

参考までに、気温30度で360km/h走行時には325Pa程度の圧力変動が発生することになる。また、図中の回帰直線は車両A通過時の評価式であるとともに、窓を開閉して開口率を変えていることから開口部に垂れ壁が無い状態であるため、図11のフローのように列車形状および開口部形状による影響を考慮して評価式を補正した。試験

車両が走行し (低減率0.85)、開口部には垂れ壁を設けるとして (増大率1.15) 算出した結果、必要開口率は1.95%となり、必要開口長さは1.57m (周長80.5m) となった。

#### 4.2 改修計画

I 駅の上り線側は騒音規制地区 (II 類型: 規制値75dB) となっているため、壁に開口部を増設した場合には外部騒音が増大する可能性がある。そこで、ホーム上の圧力変動と同時に外部騒音の測定も実施した。測定地点は上り通過線より25mとし、ケース1 (現状)、ケース3 (上部窓全開)、ケース4 (下部窓全開) について実施した。その結果、上部窓開放時は現状と騒音レベルが変わらなかったのに対し、下部窓開放時には騒音レベルが3dB程度増大した。これは、屋根に段差があるため、上部外壁の開口から漏れる音については回折により低減するためと考えられる。そこで、外部騒音とともに仮設工事費のコストダウンおよび施工性も考慮して開口部は上部外壁に収まるようにし、騒音規制の無い下り線側に極力設けることにした。また、上り線側の下部ガラリは閉鎖するこ



図16 I 駅改修後写真 (下り線側開口部付近 駅舎外部より)

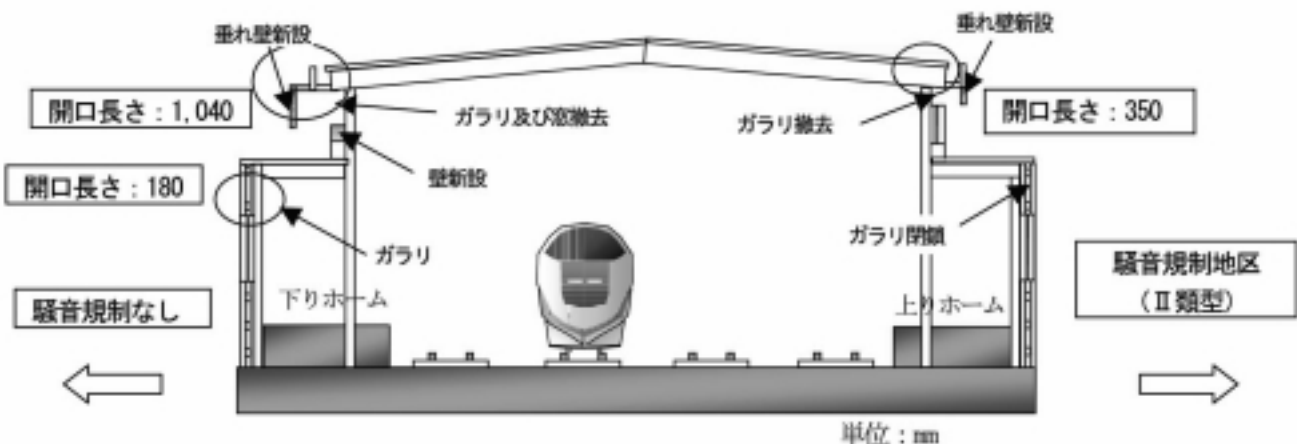


図15 I 駅改修計画 (○印は開口部)



図17 I 駅改修後写真（下り線側開口部付近 駅舎内部より）  
とにした。

その結果、図15のような改修計画とした。改修後の写真を図16、17に示すが、開口部には防鳥ネットを設置し、下り線側については採光を確保するために垂れ壁にポリカーボネート板を使用している。

#### 4.3 効果の確認

改修工事終了後、効果の確認を行うために圧力変動の測定を実施した。改修前の測定箇所に加えてP1と対称の位置となる下りホーム側のP4でも測定を実施した。改修前と同様に、対象通過列車はすべて営業車両Aとした。図18にはP1における改修前と改修後の圧力変動波形を示すが、開口部増設の効果が確認できる。また、図19には

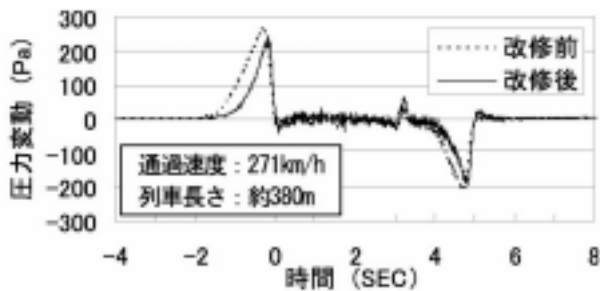


図18 E駅圧力変動波形 (P1)

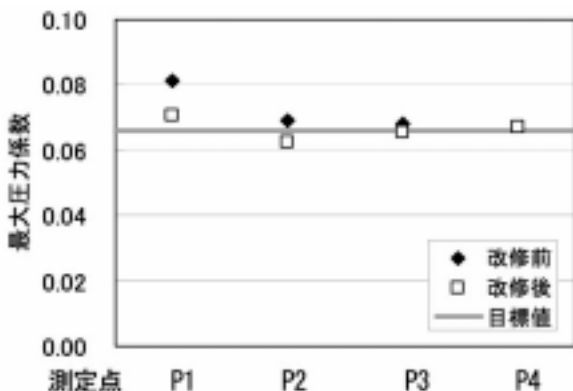


図19 E駅最大圧力係数比較

改修前と改修後の最大圧力係数を示す。P1～P3は上り列車、P4は下り列車通過を対象にしている。また、図中の目標値は目標最大圧力係数0.056に開口部形状による増大率1.15を考慮したものである。改修前に圧力係数が最大であったP1では15%程度低減したが、目標値よりも若干大きくなっている。また、P4（下りホーム）よりもP1（上りホーム）で圧力係数が大きく、開口部を非対称に設けた影響が見られるが、概ね目標値通りに圧力係数が低減している。外部騒音については、規制値内に収まった。

## 5 おわりに

本研究では駅舎内に発生する最大圧力変動の定量的な評価手法について測定や模型実験により検討した。その結果、圧力変動は列車速度、列車形状、開口率、開口部長さによって評価できることを確認した。また、提案した開口率算出手法に基づいて必要な開口率を計算し、高速走行試験区間内の駅において開口部を増設する改修工事を実施した。営業列車を対象として測定を実施した結果、概ね目標値通りに圧力変動が低減しており、列車形状以外の影響因子について予測が可能であることを確認した。今後は高速走行試験時にも測定を実施し、列車形状の影響についての確認を行う予定である。

なお、測定データの一部を(財)鉄道総合技術研究所および独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構より頂きました、紙面を借りて御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 山田真左和他：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
- 2) 菊地勝浩他：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
- 3) 菊地勝浩他：列車通過時圧力変動の簡易な数値計算法、日本機械学会論文集（B編）、71巻708号、pp.58～65、2005.8
- 4) 菊地勝浩他：明かり区間沿線における列車通過時圧力変動の低減法、鉄道総研報告、Vol.14、No.9、2000.9
- 5) 飯田雅宣他：開口部のあるチューブ内を走行する列車まわりの定常圧力場、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集、2005.10