

S3-2-7 列車通過時の圧力変動による駅施設部材の応答性状

○山 田 努 武 居 泰 外 山 直 也 ((財) 鉄道総合技術研究所)

原 口 圭 (東日本旅客鉄道 (株))

Response Performance of Finishing Materials Acted by Pressure Variation at the Time of Train Passage

Tsutomu Yamada, Yasushi Takei, Naoya Toyama (Railway Technical Research Institute)

Kei Haraguchi

(East Japan Railway Company)

In recent years, it is reported that there are some cases where the finishing materials of a station receive damage because of pressure variation generated by a train passing a station at high speed. In a lot of stations, there is possibility of fatigue damage being caused to the finishing materials because of repeated pressure generated by the frequent train passing even if the pressure is small. Then, in this research, we performed a field measurement and a laboratory experiment to understand the response performance of the finishing materials by pressure variation generated by a train passing at high speed. In addition, to forecast response of finishing materials by pressure variation beforehand, a dynamic response analysis was carried out by FEM. We also examined the validity of the analytical technique by comparing the analytical value with the experiment value.

キーワード：圧力変動、仕上材、疲労破壊、FEM解析、応答予測

Keyword: Pressure variation, Finishing material, Fatigue damage, FEM analysis, Response forecast

1. はじめに

列車が高速で駅を通過する際、圧力変動が発生し、線路階の内壁等に使用される仕上材が損傷を受けるという事例が報告されている。仕上材には列車走行回数に応じて、繰り返し圧力が作用するため、小さい圧力であっても部材が疲労損傷を生じる可能性がある。そこで本研究では、列車が高速で通過する際に発生する圧力変動による仕上材の応答性状を把握するため、現地実験と室内実験を実施した。さらに、圧力変動による仕上材の応答を予測するために、FEMモデルにより動的応答解析を行い、実験値と解析値を比較することで、その解析手法の妥当性を確認した。

2. 圧力変動による部材加振実験

2.1 部材加振実験の目的

列車通過時に発生する圧力変動による仕上材の応答性状を把握するために、現地実験(全覆上家を有する A 駅ホーム上)と室内実験を行った。両実験では、同じ仕様の試験体を用いる。現地実験では、実際に走行する列車による圧力変動を作用させ、試験体に生じる変位、歪場等を把握する。一方、室内実験は、ホーム上の圧力変動が作用する部材の応答性状を実験室レベルで把握することを目的とし、現地実験と比較することで現地と同等の条件を再現できることを確認する。

2.2 実験概要

現地実験では、図 1 のようにホーム上の開放した窓面に試験体を取り付け用フレームを介して設置し、列車走行に伴う圧力変動を作用させる。

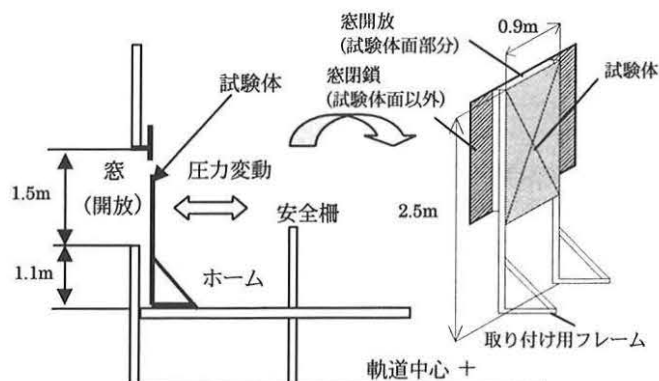


図 1 現地実験概要

室内実験は図 2 のように、アルミ板と試験体により構成される面とそれに対面する振動板との間の空間を密閉し、油圧式サーボ加振機により、気密空間内の圧力を変動させ、試験体に変動圧力を作用させる。試験体は、取り付け用アングルを介して、試験装置に設置する。

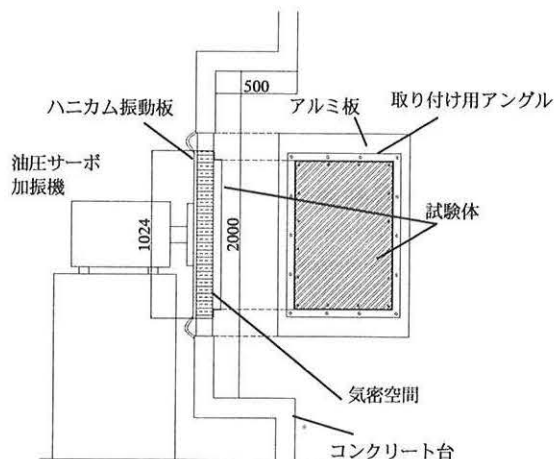


図2 室内実験概要

両実験で用いる試験体は幅 600×高さ 900mm、板厚 6mm のフレキシブルボードを取り付け用アングルに M16 ボルトで接合したものである(図 3)。測定は両実験とも、歪ゲージ、レーザ式変位計を図 4 の位置に取り付けた。現地実験と室内実験におけるフレキシブルボードに作用する圧力変動の時刻歴波形を図 5 に示すが、室内実験では、現地実験とほぼ同じ圧力時刻歴波形を再現することができた。

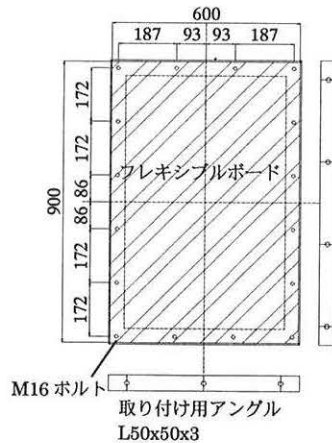


図3 試験体概要

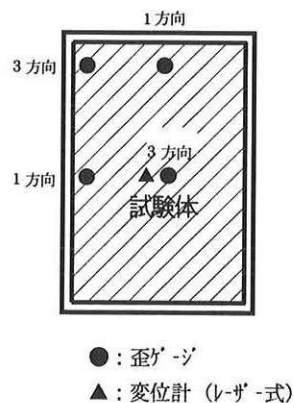


図4 測定センサ設置位置

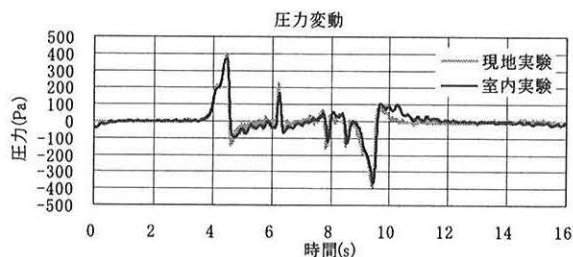


図5 圧力変動時刻歴

2.3 実験結果

(1) 変位応答

図 6 にフレキシブルボード中央部の変位応答時刻歴を示す。室内実験と現地実験の波形は、概ね一致し、室内実験で現地での現象を再現できることを確認した。

(2) 歪分布

フレキシブルボードの面内歪(3 軸計測部は主歪)の最大値について、室内実験と現地実験で比較したものを図 7 に示す。板中央部では最大主歪が短辺方向の歪、最小主歪が長軸方向の歪にそれぞれ一致した。歪の絶対値は、短辺方向の歪のほうが大きく、平板の 1 次たわみモード状態での歪場と同様の傾向を示すと考えられる。また、ボード隅角部の最大主歪、最小主歪の方向はそれぞれ、長辺軸、短辺軸から約 45 度の角度をなす。現地実験と室内実験の歪状態を比較すると、両者の性状はよく対応し、室内実験において仕上材の圧力変動による応答性状を再現できることを確認した。また、図 8 に歪応答の時刻歴波形を示すが、現地実験と室内実験ではほぼ同様の結果になった。

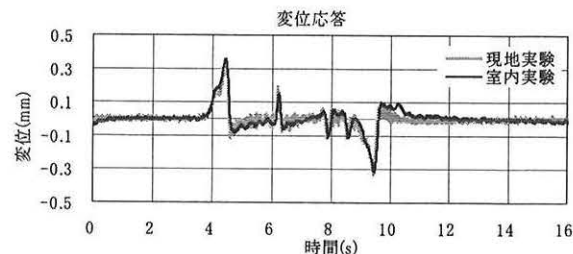


図6 変位応答時刻歴

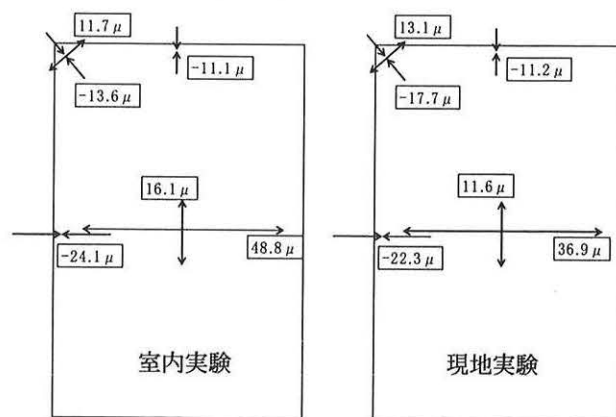


図7 歪分布

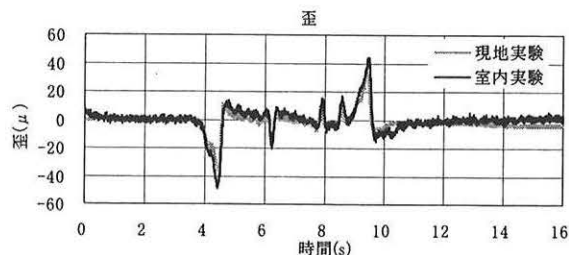


図8 歪応答時刻歴

3. FEMモデルによる仕上材の圧力変動解析

3.1 解析の目的

圧力変動を受ける部材の応答を予測することを目的とし、前項で示した室内実験を対象とした FEM モデルによる解析を実験結果と比較し、その解析手法の妥当性を検討する。さらに、実際の駅施設部材に対して FEM 解析を実施し、解析方法の有効性を検証する。

3.2 室内実験に対する FEM 解析

(1) 解析概要

室内実験で用いたフレキシブルボード試験体を対象として、図 9 に示すような幅 600×高さ 900mm、板厚 6mm の FEM 解析モデルを作成する。

境界条件は下地材の影響を考慮し、周辺の内側 30mm の部分の内、ボルト接合部の位置を完全固定、その他の部分をピン支持とした。外力として先に図 5 で示した圧力変動波形をボード全面に作用させた。ニューマーク β 法($\beta=1/4$)による時刻歴応答解析を行い、減衰は試験体をハンマー加振した結果から 1 次、2 次振動モードに対してそれぞれ 4%となるレーリー減衰を仮定した。

(2) 解析結果

図 10 は試験体中央の計測点における応答変位時刻歴を実験値と解析値で比較したものであるが、両者は良い対応を示し、本 FEM 解析が部材の応答予測に適用できることを確認した。

3.3 実際の駅施設部材に対する FEM 解析

(1) 解析概要

新幹線が高速で通過する B 駅(半覆上家を有する)の窓ガラスを対象として、FEM モデルを作成し、ホームで測定された実測圧力波形を入力し、その解析値と実測値の応答を比較する。解析モデルは、ガラス、アルミサッシから構成され、それぞれの材料物性値も併せて図 11 に示す。境界条件はガラス部分の端辺をピン支持とした。入力圧力は駅ホームで測定された圧力波形(図 12)を FEM モデルのガラス平面全体に作用させて、時刻歴応答解析を行った。減衰は現地の当該部分をハンマー加振して得られた結果から減衰定数を分析し、1 次、2 次振動モードに対して 7.7%となるレーリー減衰を仮定した。なお、この FEM モデルの 1 次固有周期は 5.8Hz であり、仕上材のハンマー加振による自由振動波形から得られた固有振動数約 5.6Hz とほぼ同じ値になった。

(2) 解析結果

面外最大変位コンターを図 13 に示すが、圧力変動がガラス板全面に作用するため、面全体で振動し、面の中央部で最大 12.5mm の面外変位を生じる。

図 14 にモデル中の①点(中央部から上へ 780mm)における解析結果と実測結果の比較を示す。圧力による衝撃を受けたあとに構造物の固有振動数で自由振動する応答性状やその応答変位絶対値など解析結果と実測結果は良い対応を示し、本解析手法が実際の駅施設部材に対しても適用可能であることを検証した。

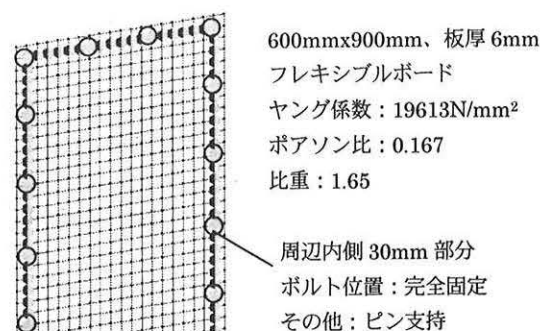


図 9 室内実験試験体 FEM 解析モデル

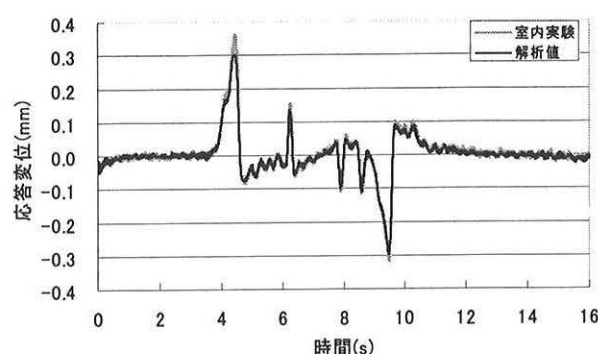


図 10 変位応答時刻歴比較

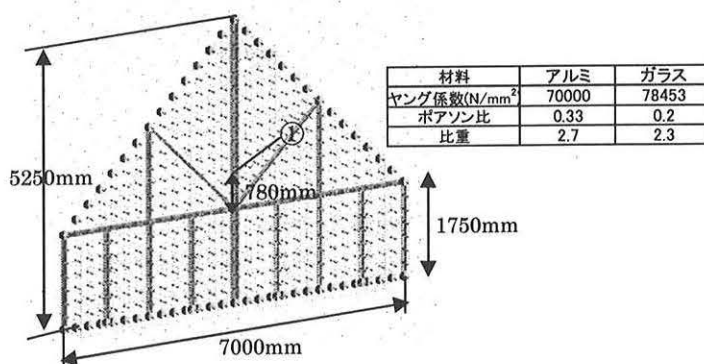


図 11 B 駅 FEM 解析モデル

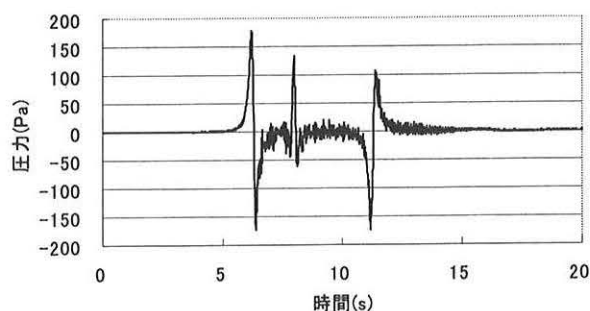


図 12 入力圧力時刻歴波形

4. 仕上材の固有振動数による応答値への影響

4.1 目的

圧力変動の卓越振動数と仕上材の固有振動数が近い場合、共振により仕上材の応答が大きくなることが懸念される。そこで、固有振動数の異なる仕上材を想定して FEM モデルを作成し、同じ圧力変動を作用させた場合の、固有振動数の違いによる応答値への影響を検討する。

4.2 解析モデル

解析モデルとして、表 1 に示すように幅 1500×高さ 2500mm、板厚 6mm の板の境界条件を変えて、2 辺固定支持モデルと 4 辺ピン支持モデルを作成した。固有振動数は 2 辺固定支持モデルで 4.8Hz、4 辺ピン支持モデルで 7.8Hz である。圧力波形は図 12 で示した B 駅ホームで測定されたものを板全面に作用させる。図 15 に入力波形(図 12)のフーリエスペクトルを示す。減衰は 1 次、2 次モードに対してそれぞれ 5% となるレーリー減衰とした。

4.3 解析結果

図 16 に板中央部の面外変位の時刻歴を示し、さらに両モデルに入力圧力波形の最大値で静的载荷した場合の結果も併せて示す。入力波のフーリエスペクトルは低振動数で大きな振幅値になるので、固有振動数の低い 2 辺固定支持モデルでは応答が大きく、振動回数も多い。また、入力波の最大値を両モデルに静的に作用させたとき生じる変位量に比べて、動的解析による変位量の最大値のほうが大きくなった。特に 2 辺固定支持モデルを動的解析した場合の最大変位量は、静的载荷した場合の変位量の 2 倍近い応答量になるので、共振を起こすようなケースでは注意が必要である。

5. まとめ

列車が高速で通過する際に発生する圧力変動による仕上材の応答性状を把握するために、現地実験と室内実験を実施した。現地実験と室内実験における作用圧力波形、変位応答、歪を比較し、実験室においても駅ホーム上に生じる圧力変動による仕上部材の応答性状を再現することができた。また、FEM 解析により実験レベル、実構造物レベルで仕上部材の応答を評価することができた。

固有振動数の違う部材の FEM 解析により、同じ圧力が作用しても、部材の固有振動数により応答性状が大きく異なることがわかった。特に、圧力変動波形の場合、低い振動数成分が卓越するため、固有振動数が低い部材は共振により変位が増幅することに留意する必要がある。

参考文献

- 1) 山田真左和、大迫勝彦、中澤真司、中島英一：シェルター状駅建物における内壁仕上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、p495-496、1998 年 9 月
- 2) 土肥哲也、加来治郎：油圧サーボアクチュエータを用いた低周波音実験装置の開発、日本音響学会論文集、p827-828、2002 年 3 月

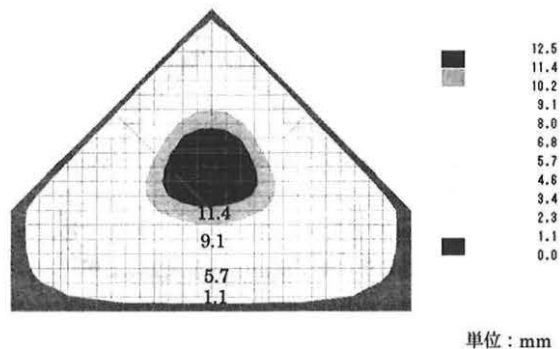


図 13 応答変位コンター

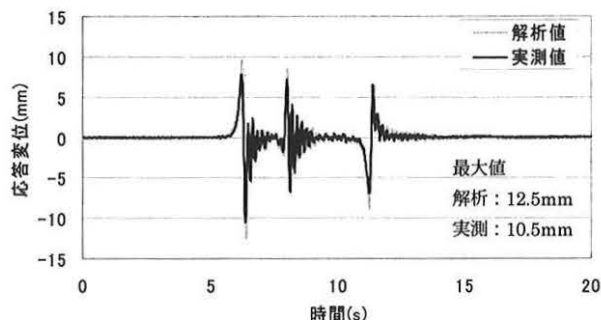


図 14 応答変位時刻歴比較

表 1 解析モデル

境界条件	2辺固定支持	4辺ピン支持
固有振動数(Hz)	4.8	7.8
ヤング係数(N/mm ²)	72000	
ポアソン比	0.2	
寸法(mm)	1500×2500	
板厚(mm)	6	

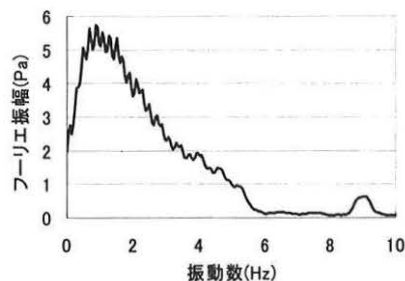


図 15 入力圧力(図 12)のフーリエスペクトル

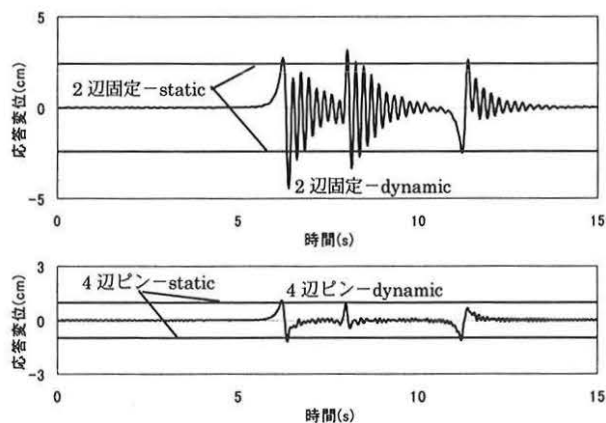


図 16 応答解析結果比較