

S7-1-8 高速列車走行に対する高架橋上防音壁支柱の安全性評価

[土] ○長谷川 淳史 曾我部 正道 ( (財) 鉄道総合技術研究所 )  
 [土] 杉本 一郎 鳥取 誠一 ( 同上 )

Safety evaluation of sound barrier columns on a railway viaduct for high-speed train running  
 Atsushi Hasegawa, Masamichi Sogabe Member (Railway Technical Research Institute )  
 Ichiro Sugimoto, Seiichi Tottori Member (Railway Technical Research Institute )

When considering the train speed-up from the side of structures, safety of not only structure itself, but also additional structures, such as sound barriers, should be studied with regards to resonance generation. However, studies on local vibrational characteristics of additional structures, such as sound barriers, have rarely been conducted until now. In this study, modeling of both a standard rigid-frame viaduct designed for the Shinkansen and its sound barriers using the finite element method, a numerical analysis for the behavior of the sound barriers and the viaduct, and a comparison with actual measurements, were conducted. As a result, the following items were confirmed that stress generated at the base of columns can be explained through wind pressure of a train passing and the load of the train itself, increase of the stress can be nearly explained by the increase of wind pressure according to the train speed-up, and a measured value of the stress with a maximum of 8N/mm<sup>2</sup> does not cause any significant safety issues.

キーワード：高速化、防音壁、列車風圧、ラーメン高架橋

Keyword: speed-up, noise barrier, wind pressure of train, rigid frame viaduct

1. はじめに

列車の高速化について土木構造物の側から検討する場合、共振発生等の観点から、構造物本体はもとより防音壁等の付帯構造物の安全性についても検討を行う必要がある。しかしながら、防音壁等の付帯構造物の局所的な振動性状、あるいはそれを支持するラーメン高架橋の部材レベルの振動性状などについては、これまでに、あまり検討がなされていないのが実状である。本検討では、新幹線ラーメン高架橋上の防音壁支柱を対象とし、三次元有限要素解析及び実測によりその応答の実態を検討することとした<sup>2)</sup>。

2. 解析手法

図1に防音壁の構造と影響を及ぼす作用に関する概念図を示す。本検討で対象とした防音壁は、場所打ち高欄の上にH型鋼の支柱を立て、PC版を落とし込んだ構造となっている。本検討では、とくにH型鋼支柱基部の応力に着目した。

表1に解析に用いた材料諸元を示す。図2に解析モデルを示す。解析には線形のソリッド要素を用いた。部分モデルでは、RCラーメン高架橋1ブロックの片持スラブ、高欄、防音壁をモデル化した。片持ちスラブ端部は固定とした。

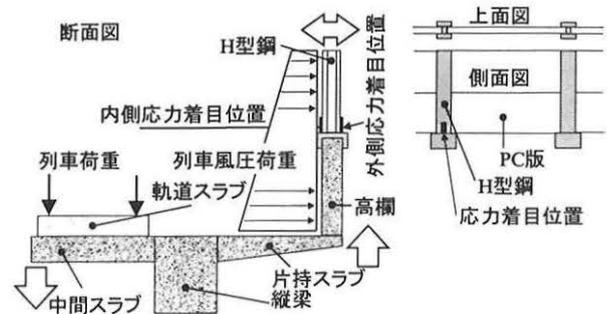


図1 防音壁の構造と影響を及ぼす作用

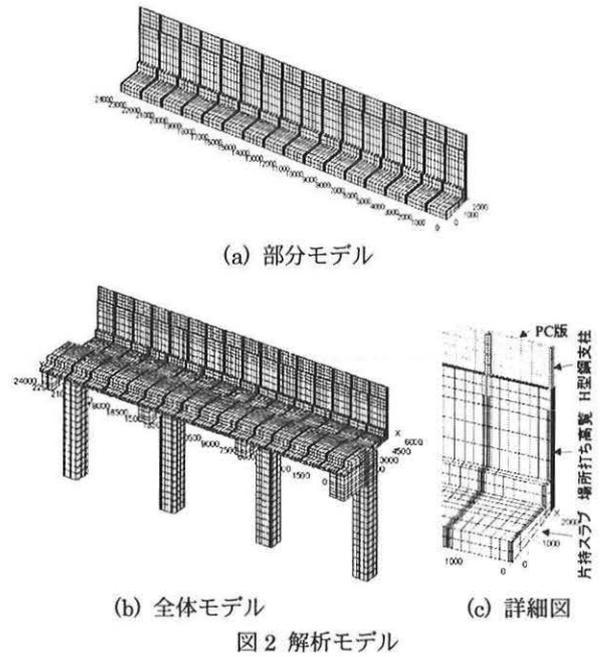
表1 材料諸元

	ヤング係数	ポアソン比	単位体積重量
高架橋	26.5 kN/mm <sup>2</sup>	0.2	24.5 kN/m <sup>3</sup>
防音壁	22.0 kN/mm <sup>2</sup>	0.2	10.6 kN/m <sup>3</sup>
H鋼	200.0 kN/mm <sup>2</sup>	0.3	77.0 kN/m <sup>3</sup>

全体モデルでは、上記に加え、スラブ軌道を含む RC ラーメン高架橋全体をモデル化した。

図3に列車速度 100km/h, 300km/h における風圧荷重のモデルの例を示す。高速列車走行に伴う列車風圧荷重は、実測の風圧データより荷重列として作成し、これを移動荷重として載荷して時刻歴応答解析を実施した<sup>3)</sup>。

本検討では、列車風圧の測定値を参考に列車速度、スラブ面からの高さにより風圧を変化させるものとし、有限要素節点の支配面積毎に時刻歴波形に置換し載荷した。ただし、測定が限定的であったため、不確定要素も考慮し、2種類のモデルを作成して検討に用いた。また全体モデルに対しては列車(10両編成)を荷重列でモデル化し、これを移動荷重として併せて載荷した。数値解析はモード法により行うものとし、減衰定数は全モードに対して2%を適用した。解析ケースとしては、列車速度をパラメータとし、部分モデル、全体モデルともに100~400km/h に対して解析を行った。



(a) 部分モデル

(b) 全体モデル

(c) 詳細図

図2 解析モデル

### 3. 固有値解析結果

図4に固有値解析結果を示す。片持スラブ+高欄+防音壁が全体として倒れるモードは、10Hz以下に近接して集中して生じている。図4(a), (b)は1次及び2次モードであるが、より高次のモードも近接して生じていた。また、H型鋼のみの倒れは図4(c), (d)に示すように、さらに高次の40Hz近傍で生じていた。従って、防音壁部分のみの固有振動数は共振に対して十分に高いと判断される<sup>1)</sup>。

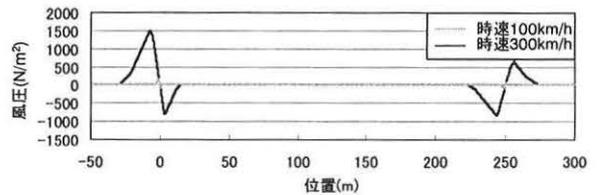
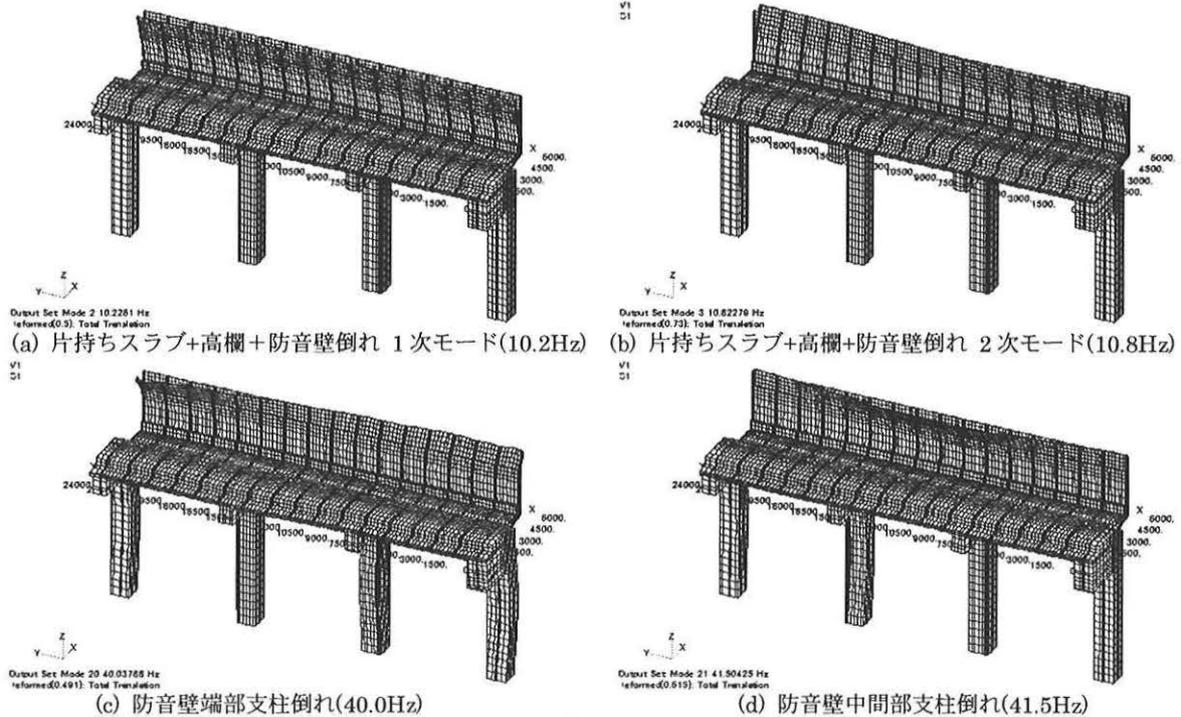


図3 列車風圧モデル



(a) 片持ちスラブ+高欄+防音壁倒れ 1次モード(10.2Hz)

(b) 片持ちスラブ+高欄+防音壁倒れ 2次モード(10.8Hz)

(c) 防音壁端部支柱倒れ(40.0Hz)

(d) 防音壁中間部支柱倒れ(41.5Hz)

図4 列車風圧モデル

#### 4. 時刻歴応答解析結果

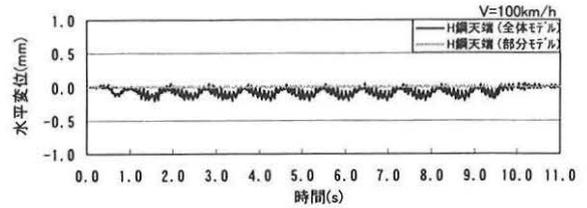
##### 4.1 時刻歴応答波形

図5に時速100km/hおよび300km/h走行時における防音壁取付け用H型鋼天端における時刻歴応答変位を、図6に応力を示す。時速100km/hの場合では、部分モデルの応答は非常に小さい。全体モデルについても列車進入時および通過後の風圧の影響は小さく、その間の列車荷重によってのみ振動している。それに対して時速300km/hの場合、列車進入前は、部分モデル、全体モデルともに同等な応答を示しているが、列車進入後は、全体モデルは列車荷重による振動が現れ、特に応力波形ではその傾向が顕著に現れている。従って、列車通過時のH型鋼の応力は、風圧荷重に加え列車荷重の影響も受け大きな応答を示している。

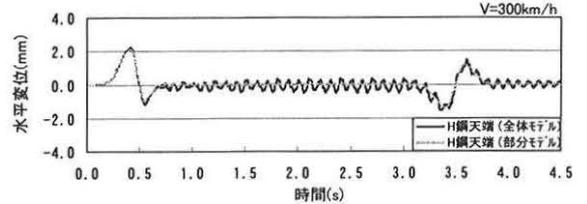
図7に片持スラブおよび中間スラブの鉛直変位波形を示す。片持スラブと中間スラブの鉛直変位は逆位相となり、図1に示したように風圧荷重により生じる他、中間スラブが列車荷重により加振され、これが片持スラブに伝わり防音壁が加振され、両者の鉛直変位はことによっても生じていることがわかる。このためH型鋼支柱は全体モデルの方が、大きな応答を示した。

時速100km/hの場合では、列車進入時に着目すると、片持ちスラブより中間スラブの鉛直変位のほうが大きく、応力列車風圧の影響より列車荷重の影響が支配的であると言える。それに対し、時速300km/hでは中間スラブより片持ちスラブの鉛直変位の方が大きく、列車進入時の風圧によって片持ちスラブは変形し、列車風圧の影響が支配的であると考えられる。

また、中間スラブの応力を図8、片持ちスラブの応力を図9に示す。時速100km/hの場合、中間スラブおよび片持ちスラブともに列車風圧の影響は非常に小さい。しかし、列車速度300km/hの場合、中間スラブは列車風圧の影響を受けていないが、片持ちスラブは列車風圧の影響を受けていることがわかる。

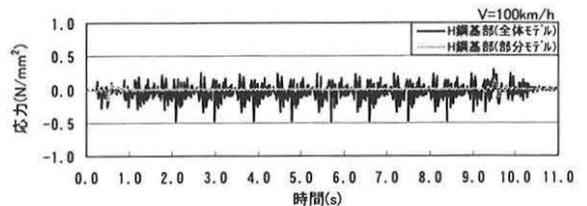


(a) 列車速度 100km/h

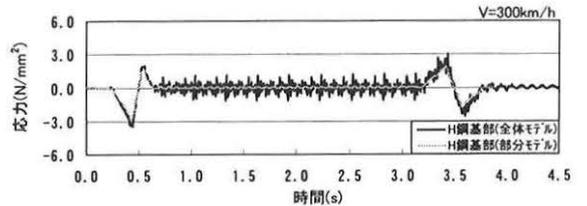


(b) 列車速度 300km/h

図5 H型鋼応答変位波形

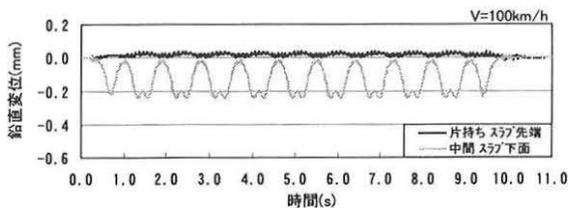


(a) 列車速度 100km/h

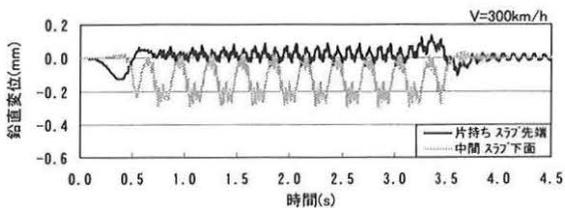


(b) 列車速度 300km/h

図6 H型鋼応力波形

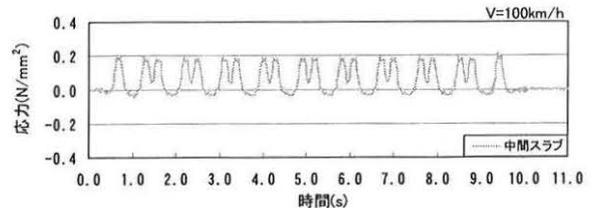


(a) 列車速度 100km/h

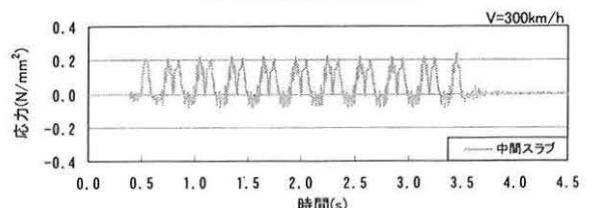


(b) 列車速度 300km/h

図7 片持ちスラブ、中間スラブ応答変位波形



(a) 列車速度 100km/h



(b) 列車速度 300km/h

図8 中間スラブ応力波形

#### 4.2 衝撃係数

図 10 に各部材の衝撃係数を示す。衝撃係数は、式(1)で表すことができる。

$$i = (f_i - f_s) / f_s \cdot \dots \cdot (1)$$

ここに、 $i$  は衝撃係数、 $f_i$  は動的な応力の最大値、 $f_s$  は静的な応力の最大値である。

ただし、図中の H 鋼基部の応力度の衝撃係数には、列車速度の増加に伴う風圧増加分が加味されているため、これらは、厳密な意味での衝撃係数とは異なることを付記しておく。また、片持ちスラブも同様に、列車速度の増加に伴う風圧増加分が一部加味されている。

列車風圧を最も受ける H 型鋼の衝撃係数が最も高く、縦梁、横梁、中間スラブの衝撃係数は低い値となっている。片持ちスラブは中間程度の値となり、列車風圧の影響を受けていると考えられる。

#### 4.3 測定値との比較

図 11 に防音壁取付け用 H 型鋼基部の応力における解析結果と測定結果の比較を示す。応力の最大、最小値を比較して示した。H 型鋼基部の応力の増加は、列車速度の増加に伴い風圧が増加したため(通常、速度の 2 乗で増加する)であると説明できる。また、測定値は、全体モデルによる数値解析結果はこれと概ね一致する傾向となった。その値は、最大でも 8N/mm<sup>2</sup> 程度で、安全上問題のない値であった。また解析上、顕著な共振現象も確認されなかった。

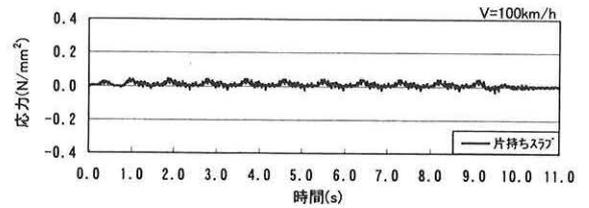
#### 5. まとめ

新幹線標準設計ラーメン高架橋上の防音壁支柱を対象として、三次元有限要素解析及び実測によりその安全性を検討した。

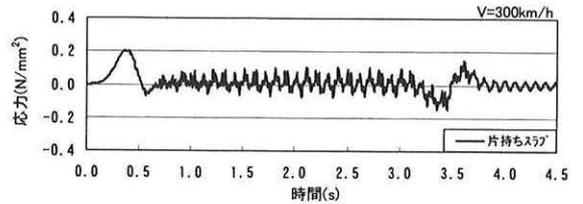
- (1) H 型鋼基部に発生する応力度は列車風圧荷重と列車荷重により生じているものと説明できる。
- (2) 応力の増加は、速度向上に起因する列車風圧の増加によりほぼ説明できる。
- (3) 測定値は、最大でも 8N/mm<sup>2</sup> 程度で、安全上問題のない値であった。

#### 参考文献

- 1) 曾我部正道, 松本信之, 藤野陽三, 涌井一, 金森真, 宮本雅章: 共振領域におけるコンクリート鉄道橋の動的設計法に関する研究, 土木学会論文集, No.724/I-62, pp.83-102, 2003.
- 2) 長谷川淳史, 曾我部正道, 杉本一郎, 鳥取誠一: 高速列車走行により生じる防音壁支柱部応力に関する検討, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集 I-561, 2005.
- 3) 四十九勇治, 曾我部正道, 村田香, 涌井一, 橋本涉一: 側壁ビーム方式ガイドウェイの動的応答に関する研究, 鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail' 98)講演概要集, pp.71-74, 1998.



(a) 列車速度 100km/h



(b) 列車速度 300km/h

図 9 片持ちスラブ応力波形

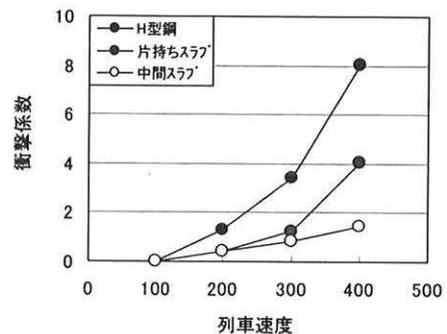
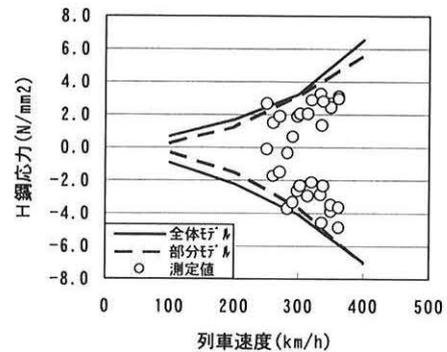
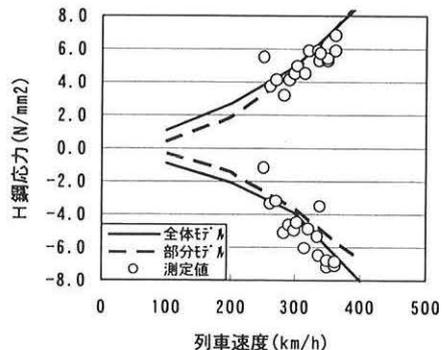


図 10 各部材の衝撃係数



(a) H 型鋼内側応力



(b) H 型鋼外側応力

図 11 H 型鋼基部の応力最大値