

# モジュラー型エキスパンションジョイントの騒音発生源の究明と その騒音防止対策の研究

## Noise Generation from Modular-Type Expansion Joint in Highway Bridges and Its Control Measures

山口宏樹<sup>1\*</sup>、松本泰尚<sup>1</sup>、鵜野禎史<sup>2</sup>

Hiroki Yamaguchi<sup>1</sup>, Yasunao Matsumoto<sup>1</sup>, Yoshifumi Uno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 埼玉大学 工学部建設工学科

Department of Civil & Environmental Engineering, Saitama University

<sup>2</sup> 川口金属工業株式会社

Kawaguchi Metal Industries Co., Ltd

### Abstract

This study investigates the mechanism of noise generation from the modular type joint and to quantify the effectiveness of countermeasures. The field measured data was first analyzed and a series of experiments was then conducted with a full scale model of the modular type joint, where the noise and vibration characteristics of the joint with and without countermeasures were investigated under a vehicle passage. The dynamic characteristics of the joint and the acoustical characteristics of the gap of the joint were also examined.

**Key Words:** Modular type expansion joint, Highway bridge, Acoustic noise, Vehicle-induced vibration

### 1. はじめに

橋梁の多径間化や免震化による桁端伸縮量の増加に伴い、道路橋の桁間を繋ぐ伸縮装置には大きな伸縮量やあらゆる方向の回転に対する自由度が求められるようになった。モジュラー型エキスパンションジョイント (Fig. 1) はこのような要求を満たす伸縮装置の一種であり、ジョイントを構成する複数のミドルビームが自由に位置関係を変えることができるため、極めて汎用性に富む。しかし、車両通過時にモジュラー型ジョイントから発生する騒音

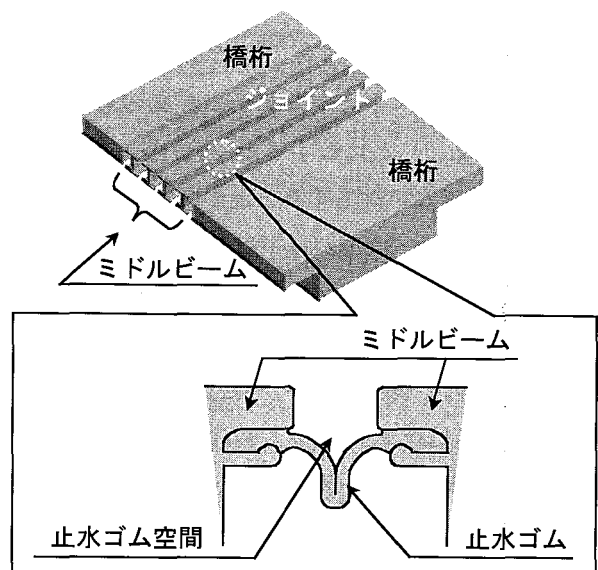


Fig. 1 モジュラー型ジョイントの概略

\* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255  
電話・Fax: 048-858-3552  
Email: hiroki@post.saitama-u.ac.jp

が比較的大きい場合があり、現在、その対策が精力的に検討されている[1].

本研究ではこの騒音問題解決への第一段階として、車両通過時に発生する音の発生機構を解明すると共に、各種騒音対策の効果を定量的に把握することを試みた。具体的には、まず、実橋走行実測記録を解析することでその音の特徴を捉えた。次に、試験ピットを設けた上で地表に設置した実物試験体にて、ミドルビーム打撃試験と止水ゴム空間音響特性試験よりその振動音響特性を明らかにし、実車走行試験を行って、発生する音について各特性からの音源探査を行った。さらに、実物試験体に2種類の騒音対策を施した上で、同様の実験を繰り返して、騒音制御の効果とメカニズムにつき検討を行っている。

## 2. 実橋走行実測記録での振動音響応答特性

モジュラー型ジョイントを有する高架橋で実施した実車走行試験の記録を用い、ミドルビームの振動およびジョイント周辺の音を解析した。

ダンプトラック車が通過したときにジョイント上で測定された音について、ランニングスペクトルにおける周波数毎の最大値から構成した最大値スペクトルを Fig. 2 に示す。走行音より卓越しているジョイント通過時の成分が、車両がジョイントを通過するときに発生する特有の音であると考えられる。この音について、ミドルビーム振動の最大値スペクトル (Fig. 3) と比較すると、117Hz, 151Hz, 200Hz の卓越成分が対応することから、振動の卓越周波数域と重なる 300Hz 以下は放射音の可能性があるとと言える。振動と音の大きさは対応していないが、これは各卓越成分に対応する振動モードの形状により、放射音の規模や分布が異なるためと考えられる。また、音には 400Hz から 800Hz にも卓越周波数域があり、振動にはそれと対応する卓越成分がない。これより、車両がジョイントを通過するときの音には、振動との関係が異なる2つの卓越周波数域の現れることが明らかとなった。

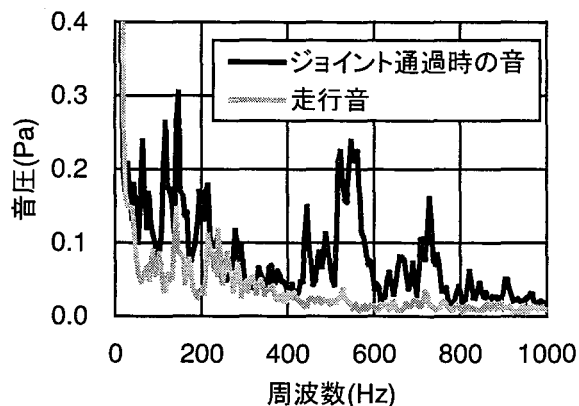


Fig. 2 実橋ジョイント上騒音の最大値スペクトル

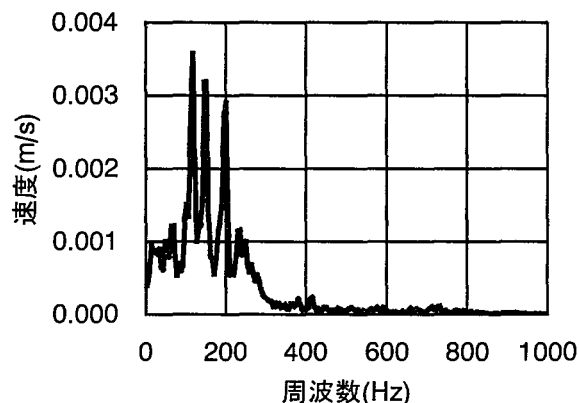


Fig. 3 ミドルビーム鉛直振動の最大値スペクトル

## 3. 実物試験体と実験方法

ミドルビーム3本からなる実物試験体を地表に設置し、直下には桁下を想定した下部空間(試験ピット)を設けた。Fig. 4 にその平面図と音観測点の配置を示す。実験では、走行パラメータとして車種(普通車・ワゴン車)、走行位置(コントロール機構上・サポートビーム上)、走行速度((時速 40km・時速 50km)を考えた。また、騒音制御策として、ミドルビームの振動制御策(制御なし・質量付加)と、ミドルビーム間にある止水ゴム空間の空間制御策(制御なし・空間閉塞・矩形断面・矩形断面空間閉塞・止水ゴムなし)を考え、制御パラメータの組み合わせから7つの制御条件を定めた (Fig. 5)。これら走行パラメータと制御条件の組み合わせから56ケースの実車走行試験を行った。なお、再現性検討のためケース毎に3回の走行を行っている。

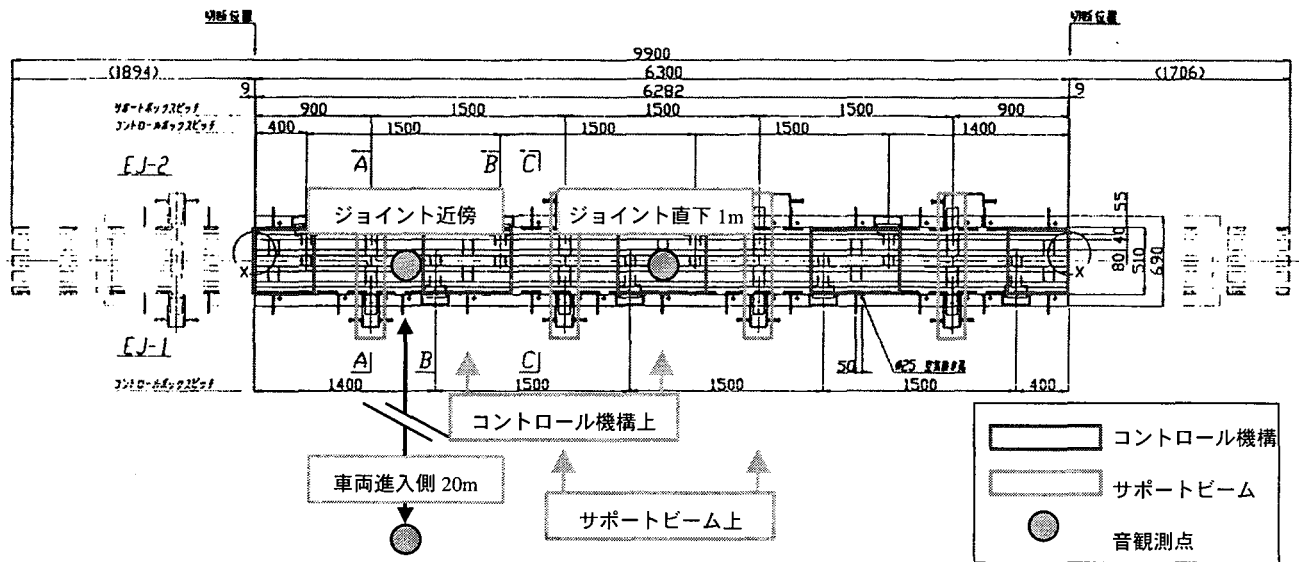


Fig. 4 実物試験体平面図 (単位: mm)

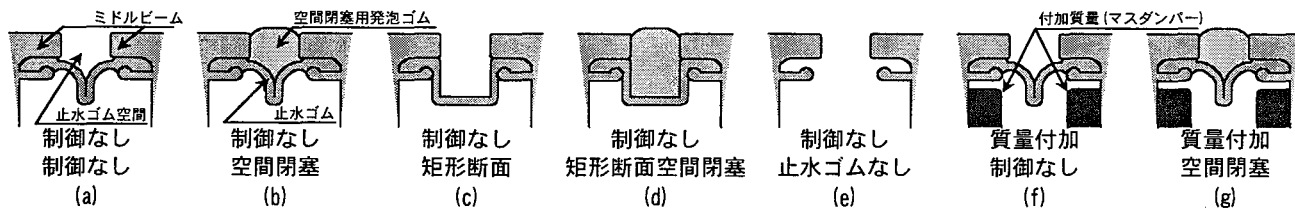


Fig. 5 騒音制御条件 (上段: 振動制御策, 下段: 空間制御策)

#### 4. モジュラー型ジョイントの騒音発生メカニズム

##### 4.1 振動音響特性実験と車両通過時の騒音源探査

打撃ハンマーによる振動試験では、ジョイント打撃時にミドルビームの振動と周辺の音を記録し、そのデータ解析には Eigensystem Realization Algorithm を用いた。解析結果を Fig. 6 に示す。ジョイントを構成する各3本のミドルビームにおける車両車輪通過位置のどの点を打撃しても、60Hz から 220Hz ではほぼ同じ固有振動数が同定されており、これらは車両通過時に励起されやすい振動モードであるといえる。

一方、止水ゴム空間の音響特性試験では、止水ゴム空間上をタイヤ相当の長さを持つゴム板で塞ぎ、その気柱状空間端部間の音の伝達から空間音響特性を求めた。その結果を Fig. 7 に示す。卓越周波数は大型車タイヤ幅 (0.300m) で 474Hz、普通車 (0.175m) で 718Hz、小型車 (0.125m) で 874Hz と、気柱共鳴の理論に順じて空間が短くなるほど高くなった。これより、止水ゴム空間から発生する可能性のある音は 400Hz から 1000Hz と

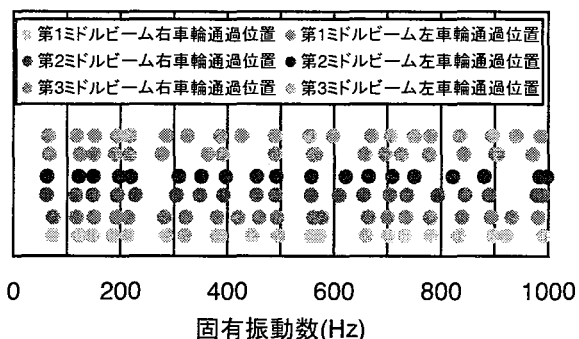


Fig. 6 打撃位置の違いによる固有振動数

推定できる。

実車走行試験では、車両走行時のミドルビーム振動と音を記録し、先の試験より求められた振動音響特性との対応から車両通過に発生する音の音源探査を試みた。ワゴン車通過時におけるジョイント上の音では、Fig. 8 に示すように、722Hz を中心とした卓越の生じていることが分かる。これは普通車のタイヤ幅における止水ゴム空間音響特性の卓越周波数に対応することから、止水ゴム空間より発生した音と推定できる。ただ、地表に設置された試験体は地盤に拘束されているため、振動が

殆ど励起されず、放射音の発生を明確に確認することはできていない。

#### 4.2 車両通過時の騒音発生メカニズム

実橋実測記録の解析と実物試験体実験で明らかになったことから、音の発生機構は次のように推定される。車両がジョイントを通過するとき、タイヤによる衝撃がミドルビームを加振し、その振動により放射音が発生する。また、タイヤが乗り上げることで止水ゴム空間内に発生した衝撃的な圧力変動が、タイヤとの間に生じた気柱状空間の音響特性により増幅されることで、400 から 800Hz の圧縮膨張音となる。つまり、車両がジョイントを通過したときに発生する音は、ジョイント振動による放射音とジョイント空間からの圧縮膨張音により構成されていると結論される。

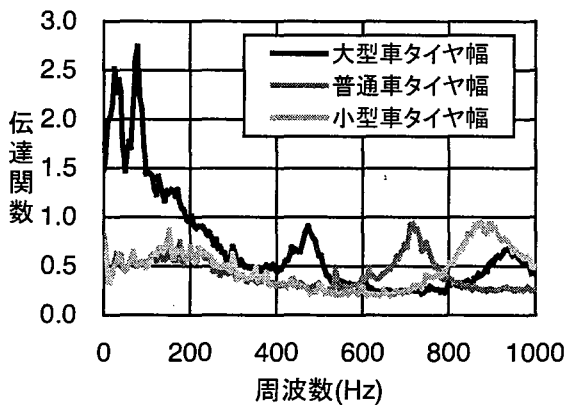


Fig. 7 止水ゴム空間の音響特性

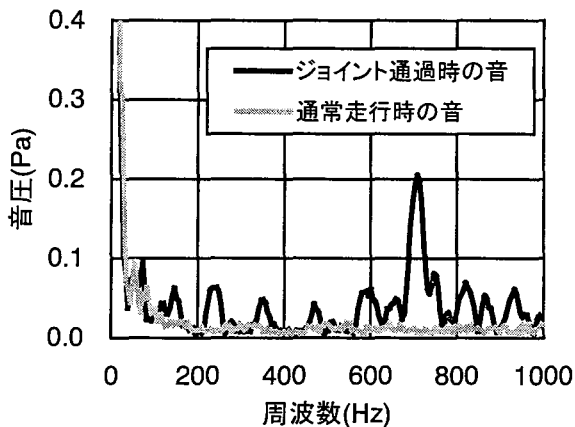


Fig. 8 試験体ジョイント上騒音最大値スペクトル

車両がモジュラー型ジョイント上を走行する際に発生する騒音の発生源として、止水ゴムとタイヤに囲まれた空間から放出される圧縮膨張音、および放射音が発生するミドルビーム振動が特定されて。そこで、圧縮膨張音を防ぐための止水ゴム空間閉塞、およびミドルビームの振動制御のための質量付加の2つの騒音対策を検討した。

#### 5.1 止水ゴム空間閉塞

止水ゴム空間を閉塞して実車走行試験を行った結果 (Fig. 9), 空間閉塞により 600Hz から 800Hz の音が大きく減少した。また、止水ゴム空間音響特性試験結果 (Fig. 10) からは止水ゴム空間上にワゴンタイヤを置いた場合は、タイヤと止水ゴムに囲まれた空間内では 700Hz 付近の音が増幅されることが分かる。以上の結果から、止水ゴム空間と車両タイヤの閉空間の存在が騒音に大きく影響し、空間を閉

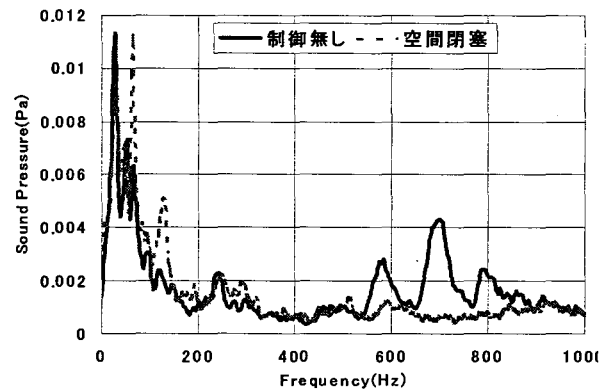


Fig. 9 空間閉塞の効果 (車両通過時)

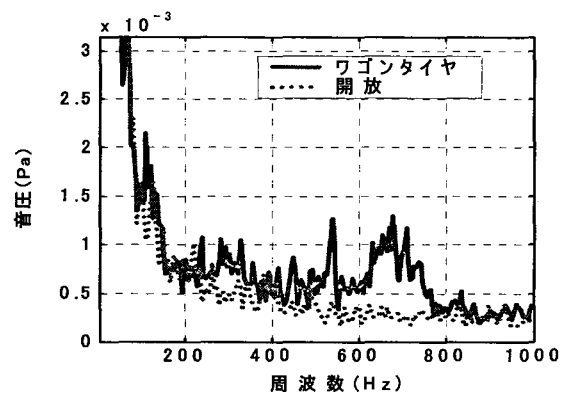


Fig. 10 止水ゴム空間の音響特性

### 5. 騒音対策の効果と制御メカニズム

塞する騒音制御法は非常に有効であると言える。

## 5.2 ミドルビームへの質量付加

ミドルビームに質量付加を行って実車走行試験を行った結果 (Figs. 11, 12), 600Hz および 700Hz で音が小さくなった。また, 振動については水平応答に 80Hz 付近での振動の低減が認められる。加速度計は3本のミドルビーム中央の水平・鉛直両方向に設置している (車両進入側から第1, 第2, 第3

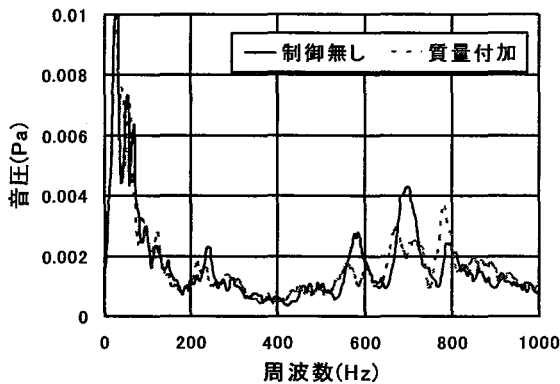


Fig. 11 質量付加の騒音低減効果

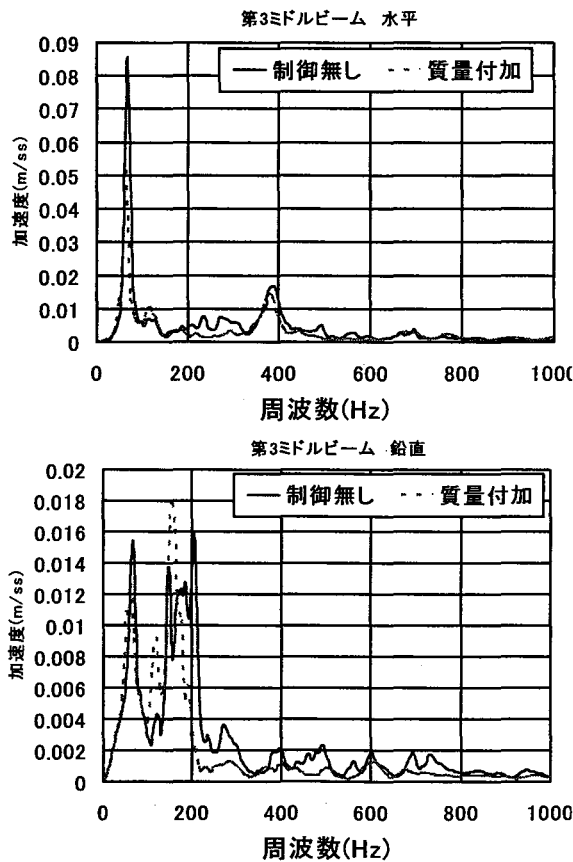


Fig. 12 質量付加の振動低減効果

ミドルビーム)。一方, 打撃試験の結果として第3ミドルビームの振動応答関数を Fig. 13 に示したが, 水平・鉛直両方向において 200Hz 以上での振動伝達率が大きく低減していることがわかる。振動制御効果が騒音制御効果にどのように関係しているかは不明であるが, 質量付加によって 600Hz, 700Hz の音が若干減少し, 振動では 80Hz と 200Hz 以上の振動を小さくすることが出来ると言える。

## 6. パラメータ分析

### 6.1 走行騒音に及ぼすパラメータの影響

車両進入側 20m 位置で計測した音を対象として, 3走行を平均化した音圧スペクトルについて評価を行う。振動・空間の両制御なしにおいて走行パラメータを変動させた結果を Fig. 14 に示す。同図(a)では卓越成分が両車種間で共通であるものとそうでないものがあることが分かる。車重, 車幅, 車軸幅, タイヤの種類などの

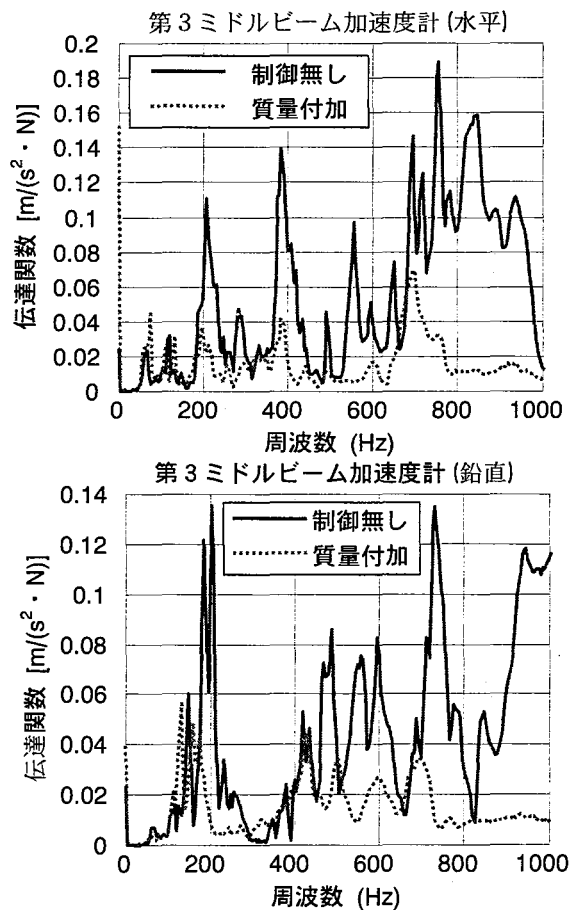


Fig. 13 第3ミドルビームの振動特性変化

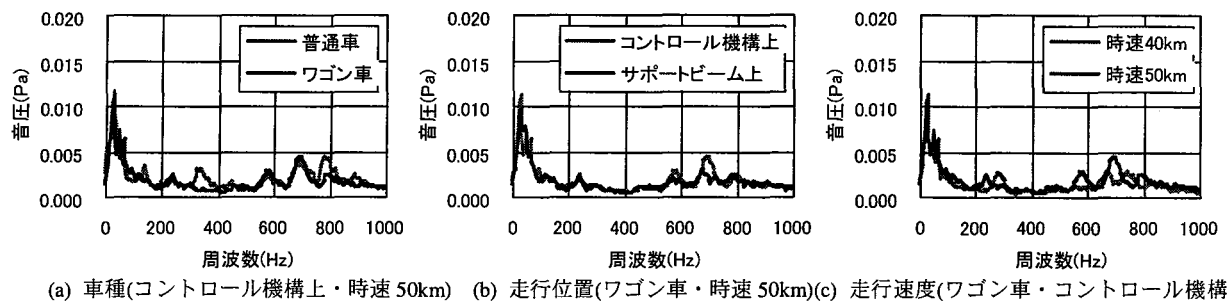


Fig. 14 走行パラメータの違いによる比較

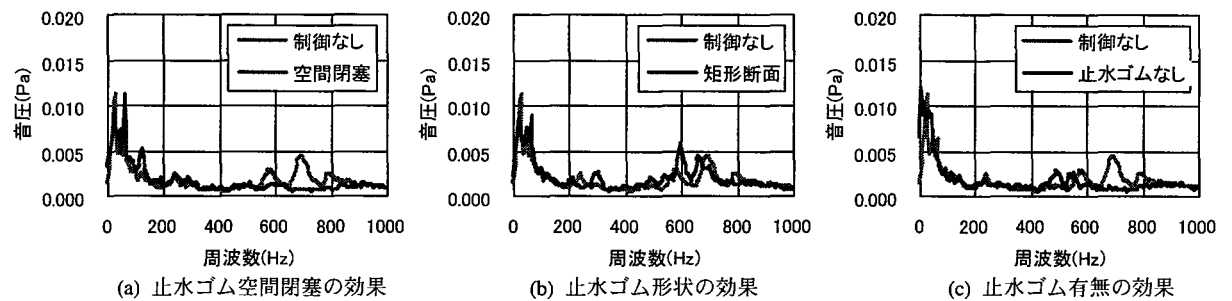


Fig. 15 各種空間制御の効果の比較

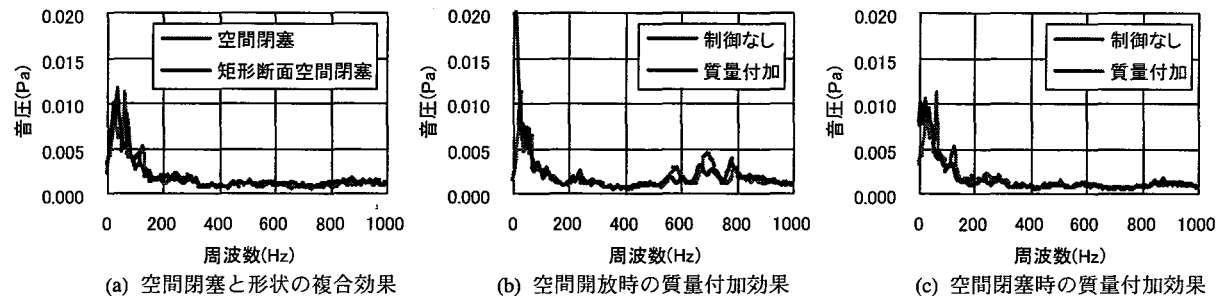


Fig. 16 複合制御策の効果の比較

違いが影響したものと思われる。同図(b)は、走行位置により卓越周波数及びその規模が異なることを示しており、サポートビーム上走行の卓越規模が比較的小さい。これは、橋桁に拘束されたサポートビーム上の加振では振動・音の励起が抑制されたためと考えられる。また、同図(c)から速度が大きいほど発生する音も大きくなっており、ジョイントに対する衝撃の強さが発生する音の規模に影響したと考えられる。

## 6.2 騒音制御効果の比較

再現性の高いワゴン車・コントロール機構上・時速50kmを基本パラメータとし、車両進入側20m位置で計測した音を対象に騒音制御効果の比較を行った。音圧スペクトルは3走行を平均化して用い、空間制御策の比較をFig. 15に示す。空間の形状を変えた場合、空間

を開放した場合でも高周波数域の音に変化しており、止水ゴム空間はこの領域の音と密接に関わっていると見える。Fig. 16には様々な騒音制御策を組み合わせた場合の比較を示す。空間閉塞と質量付加の効果が高周波数ごとに明確に現れることに変わりはない。

## 7. まとめ

今後は実橋実測により騒音特性を明確にした上で、人間への影響につき研究を進める予定である。

## 参考文献

- [1] “Noisy neighbors”, *Bridge design & engineering*, No.35, pp.75 (2004).