

道路橋モジュラー型エキスパンション・ジョイントの 騒音発生メカニズムと騒音制御策

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

山口宏樹^{1*}, 松本泰尚¹, 鵜野禎史², 廣本泰洋², 小澤亨², 富田直幹¹
H. Yamaguchi¹, Y. Matsumoto¹, Y. Uno², Y. Hiromoto², T. Ozawa² and N. Tomida¹

¹ 埼玉大学 工学部建設工学科

Department of Civil & Environmental Engineering, Saitama University

² 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 in highway bridges and quantifies the effectiveness of countermeasures. A series of experiments was 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 was also studied by the impulsive hammer testing as well as by the eigenvalue analysis with the FEM model of joint.

Key Words: modular type expansion joint, highway bridge, acoustic noise, vehicle-induced vibration, noise control

1. はじめに

橋梁の多径間化および免震橋梁の増加により、道路橋エキスパンション・ジョイントに求められる伸縮量が増加する中で、図1に示すモジュラー型ジョイント[1]は全方向伸縮を可能とすることから、近年多くの実績を挙げてきた。しかし、車両通過時に発生する騒音が比較的大きい場合が見受けられるため、著者らは、道路橋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について研究を進めてきた[2]-[4]。その結果、

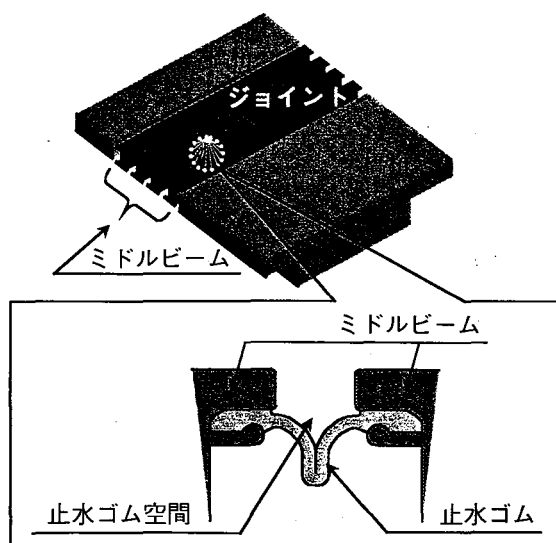


図1 モジュラー型ジョイントの概略

* 〒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

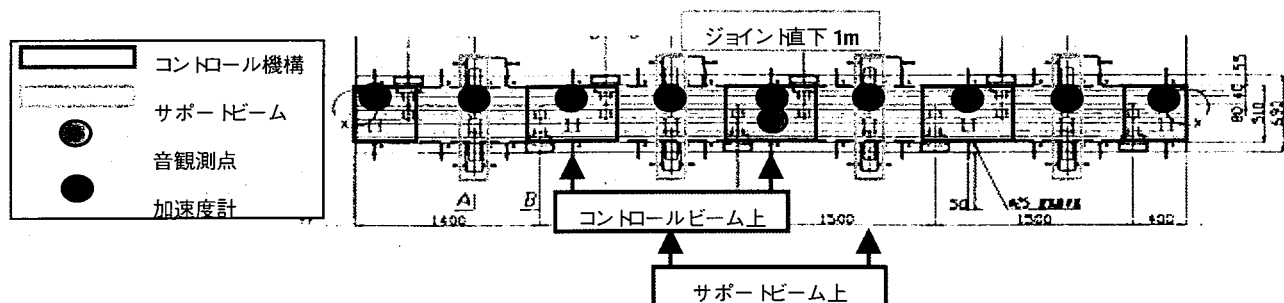


図2 実物試験体平面図

モジュラー型ジョイントでは、止水ゴム空間に起因して発生する圧縮膨張音、およびミドルビーム等、ジョイント構造の振動に起因して発生する振動放射音が騒音発生源であることを特定した。本研究ではこれを受け、振動と音の関係を把握して振動放射音の発生メカニズムを解明するとともに、各騒音発生源に対応した騒音制御策について、実物試験体を用いた実車走行試験を行い、その騒音制御の効果を比較検討した。

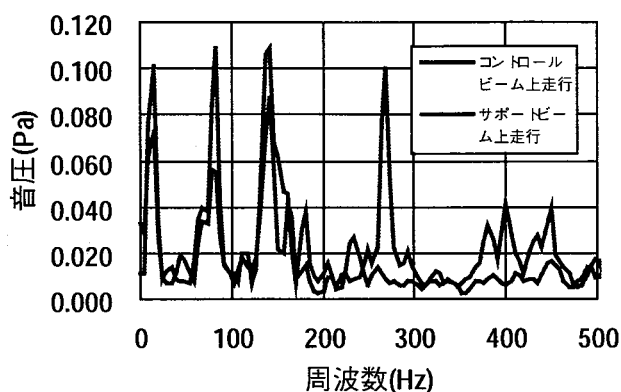


図3 走行位置によるジョイント下部音の相違

2. モジュラー型ジョイントの振動特性と騒音

(1) 実物試験体と実験方法

実験では、川口金属工業敷地内に設置された実物試験体（ミドルビーム3本からなる実物試験体を地表に設置、直下には桁下を想定した下部空間として試験ピットを設けたもの）を使用した（図2）。まず、ミドルビームの振動特性を把握するために、図2のようにミドルビームの水平・鉛直方向に加速度計を設置し、ジョイント中央直下1mに騒音計をそれぞれ設置した。実験ではインパルスハンマーを使用し、コントロール・サポートビーム上のミドルビームを水平・鉛直加振して、振動および騒音を計測した。また、振動と音の解析として、モード同定法的一种である ERA（Eigensystem Realization Algorithm）[5]を用いた。

(2) ジョイントから発生する音

図3は既往の研究において、実物試験体に車両を通過させた際に計測された音圧スペクトルである。図に示されるように、車両走行時にジョイント下部では85Hz、150Hzで大きな振動放射音が発生してい

るが、コントロールビーム上走行時には380Hz付近の振動放射音が、またサポートビーム上走行時には270Hzの振動放射音が、さらに卓越していることが分かる。

(3) ジョイントの振動特性と音の関連性

図4に打撃試験によるミドルビームの振動特性を示す。ここで、図3のジョイントから発生する振動放射音の周波数に着目すると、85Hzの振動はミドルビームを水平方向に加振した時に、水平・鉛直方向で励起されやすい振動であるのに対し150Hzの

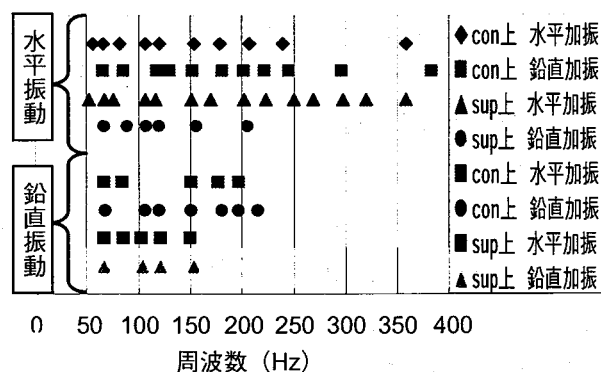


図4 ミドルビームの振動

振動は加振方向によらず水平・鉛直方向で励起される振動であると言える。また、サポートビーム上を水平加振したときのみに 270Hz の振動が励起されていることもわかる。これは、図 3 で示されたサポートビーム上走行時のみに 270Hz の音が卓越することと対応する。さらに、コントロールビーム上を鉛直加振したときのみに 380Hz の水平振動が励起されている。この結果も、図 3 のコントロールビーム上走行時に 380Hz 付近の音が卓越していることと対応する。

次に、150Hz の初期振幅を 1 としたミドルビームの各振動の初期振幅を比較すると (図 5), 85Hz の振動はサポートビーム上を加振した時に比較的大きくなるのが分かる。また、この結果が、サポートビーム上走行時のほうがコントロールビーム上走行時よりも 85Hz の音が大きくなる原因であると考えられる。しかし、270Hz や 380Hz の初期振幅に

着目すると、あまり初期振幅が大きくないにも関わらず、車両走行時に大きな音となっていることから、振幅の大きさだけではなく振動のモード形状等も音への影響があることが考えられる。

(4) ミドルビームの振動モード形状

図 6 は ERA 解析によって得られた振動放射音の原因となっている振動のモード形状である。しかし、このモード形状がどのように音に影響するのかを解明するには至らなかった。

(5) 3次元 FEM による固有振動解析

実験結果におけるモジュラー型ジョイントのモード形状等の結果の妥当性を判断する上で、ジョイントの有限要素モデルによる固有値解析結果が必要となったため、図 7 のように梁要素を用いてジョイントモデルを作成した。モジュラー型ジョイントは部材同士がゴムやベアリングにより結合している複雑な構造であるため、各部材の結合部を 3 方向

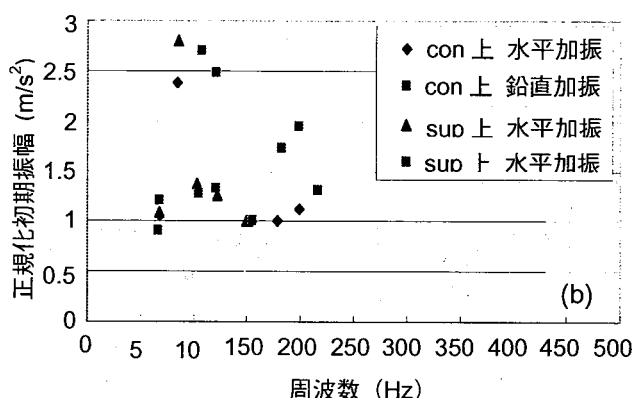
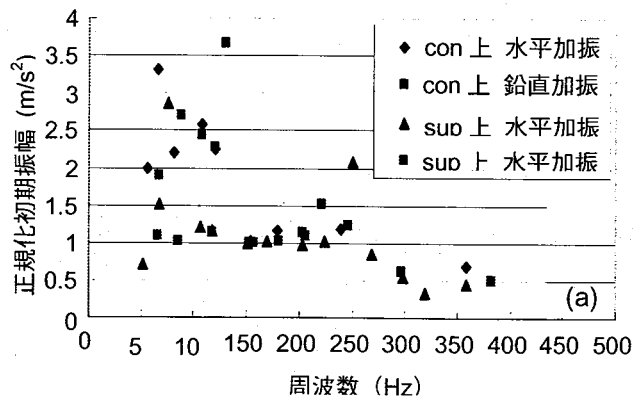


図 5 各振動数成分の初期振幅：(a) 水平振動、(b) 鉛直振動

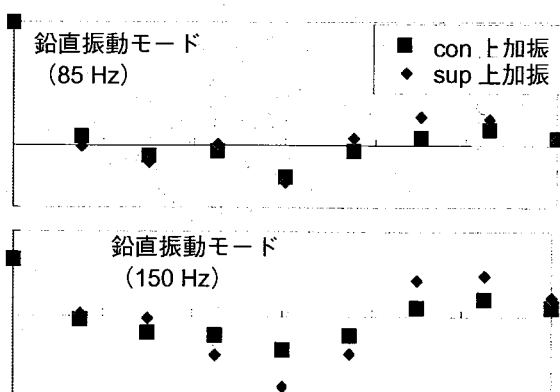
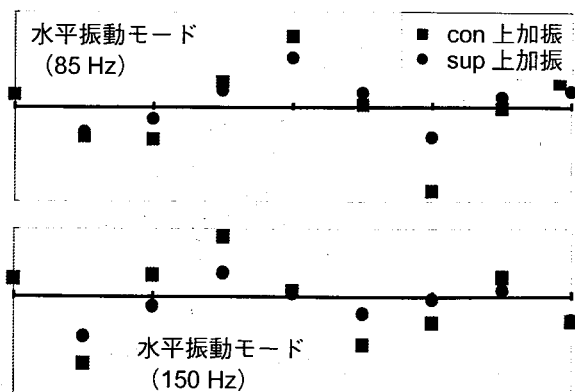


図 6 ERA により同定されたミドルビームの振動モード形状

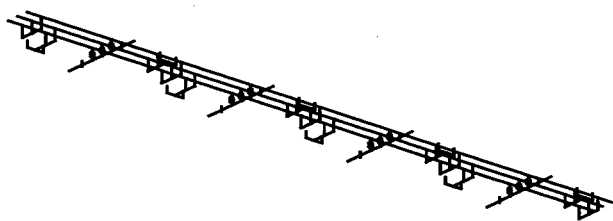


図7 モジュラー型ジョイントのFEMモデル

のバネ要素を用いてモデル化している。図8に固有値解析結果としてのモード形状を示したが、図6に示した実験のモード形状との対応は必ずしも良くない。今後、ジョイントのゴムやベアリングのパラメーターを把握し、ジョイントモデルをより正確にしていく必要がある。

3. モジュラー型ジョイントからの騒音の制御策

(1) 実物試験体と実車走行試験の方法

これまでの研究と同様に、川口金属工業敷地内に設置された実物試験体を使用し、普通車を時速 50 km/h でコントロールビーム上、およびサポートビーム上を通過するようにそれぞれ5回走行させ、騒音を計測した。



(a) 普通止水ゴム断面 (b) 新型止水ゴム断面 (c) 止水ゴム空間閉塞

図9 止水ゴム空間における騒音制御策

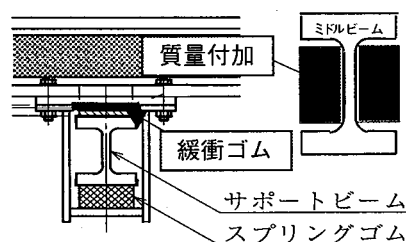


図10 質量付加と緩衝ゴム

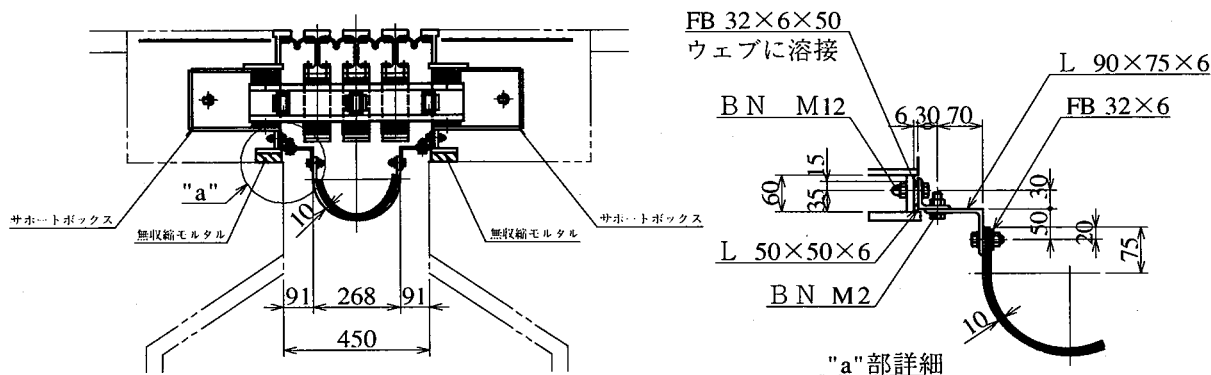


図11 遮音板と取付け詳細図

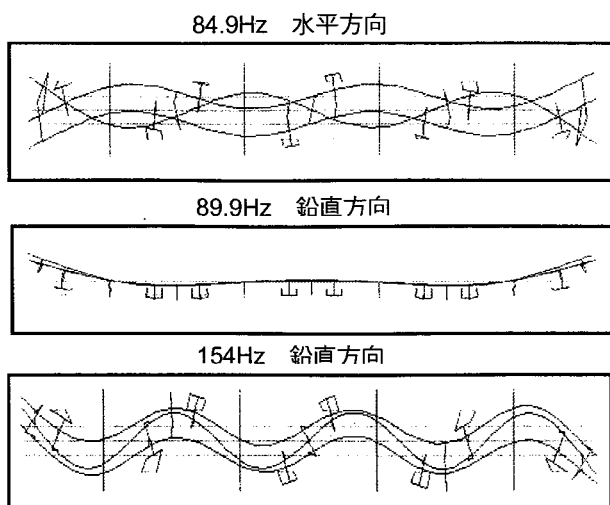


図8 固有値解析結果

(2) 騒音制御策

ジョイント上部における騒音に対する制御策として、図9に示すように、普通止水ゴム断面に対し、空間を狭める新型止水ゴム、および空間を無くす空間閉塞[4]を行った。振動放射音の制御策としては、図10に示すように、ミドルビーム (252 Kg) に 130 Kg の質量付加[4]、およびミドルビームとサポートビーム間に緩衝ゴムを導入した振動制御策を考え

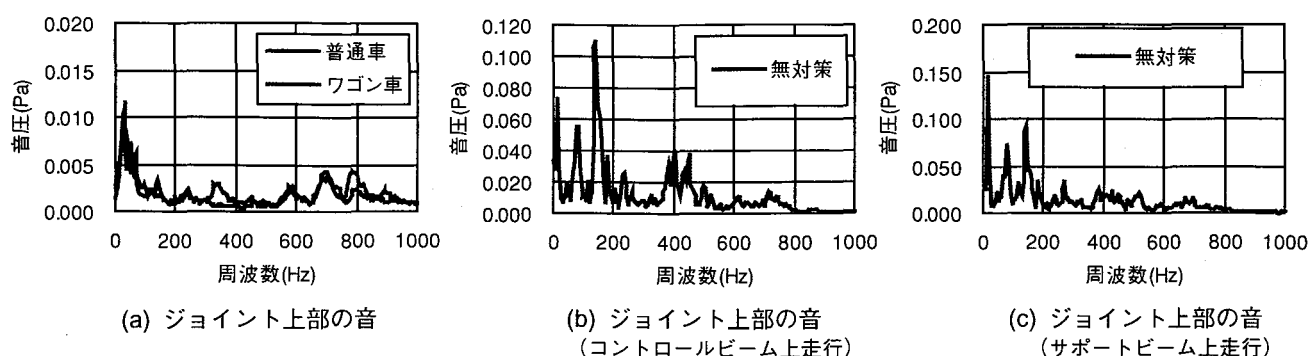


図 12 無対策時においてジョイントから発生する音圧スペクトル

て実車走行試験を行った。さらに、ジョイント直下の音の遮音を目的とし、遮音板およびグラスウールを挿入した遮音板 (図 11) を設置して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 5 回の走行を行っている。

(3) ジョイントから発生する音

ジョイント上部では車両走行際、ジョイント下部では直下 1m の音を対象として、5 走行を平均化した音圧スペクトルについての評価を行う。無体策時における各スペクトルを図

12 に示す。この結果から、ジョイント上では 500 Hz ~ 800 Hz、ジョイント下部では 500 Hz 以下に卓越する周波数帯があることが解る。

(4) 空間圧縮音に対する騒音制御効果

図 13 に示すようにジョイント上部では、止水ゴム空間を狭めることにより、500~800Hz の音が若干減少したことが分かる。しかし、空間が少し残るために圧縮音は完全には無くなっていない。これに対して空間閉塞 (図 14) では 500Hz 以上の音はほとんど無くなっていることがわかる。

(5) 遮音による騒音制御効果

ジョイント下部における遮音板では、100 Hz 以上の音は大きく減少し、効果は十分にあることが分かる。しかし、80 Hz で音の増幅が見られる (図 15(a))。これは、遮音板内の空間の固有振動数と振動放射音が共鳴し音が大きくなっているためと考えられた。そこで、遮音板内にグラスウールを挿入した結果、共鳴が無くなり、80 Hz での音の増幅が無くなった (図 15(b))。

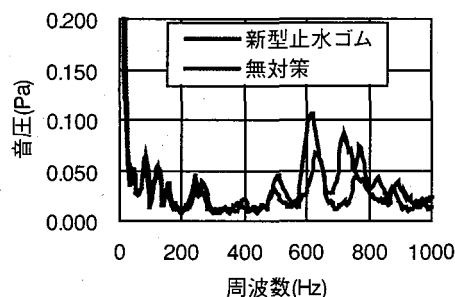


図 13 新型止水ゴムの騒音制御効果
(ジョイント上部の音圧)

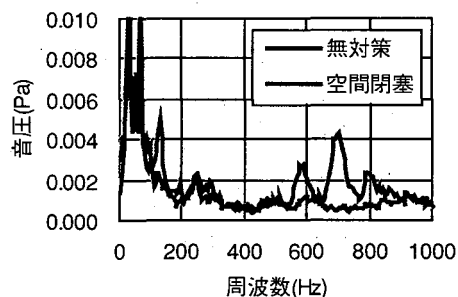
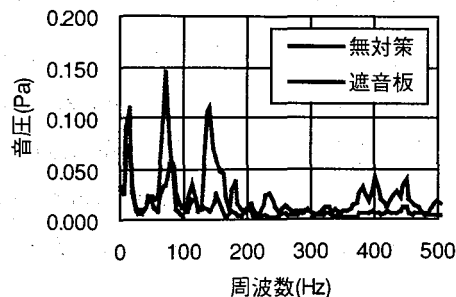
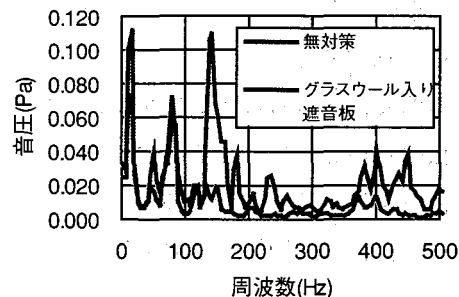


図 14 空間閉塞の騒音制御効果
(ジョイント上部の音圧)



(a) 遮音板



(b) グラスウール入り遮音

図 15 遮音板の騒音制御効果 (ジョイント下部音：コントロールビーム上走行)

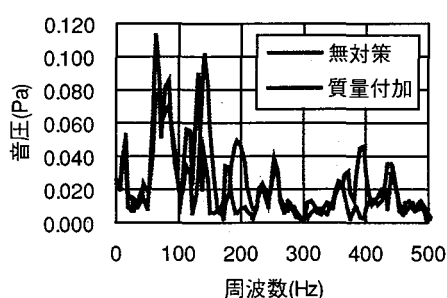


図 16 質量付加による騒音制御効果

(6) 振動制御による騒音制御効果

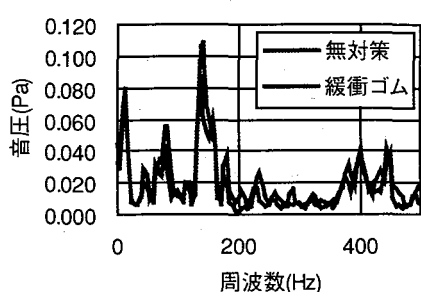
図 16 に質量付加に伴う音圧スペクトルの変化を示す。図から、質量付加では全体的に卓越周波数が低周波に移動しているように見受けられる。これはミドルビームの質量が増加したことによって固有振動数が低くなったためであると考えられる。しかし、騒音制御策としてはあまり効果は無い。

これに対し、緩衝ゴムにより振動を制御し、それによって騒音制御する策（図 17）では、コントロールビーム上走行時で特に効果が見られないものの、サポートビーム上走行時では 80 Hz, 150 Hz で大きな音の減少が見られた。これは、緩衝ゴムがミドルビームとサポートビームの間に挿入されたことにより、サポートビーム上走行時の振動が低減されやすいためであると考えられる。

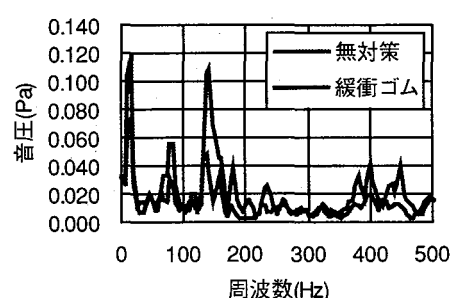
4. まとめ

実物試験体において、振動放射音とミドルビームの振動との関連性を得ることが出来た。また、加振点や加振方法によって励起される振動の違いと音の関連性を得ることも出来た。しかし、解析により振動特性を把握するには至っておらず、今後さらに検討を加える必要がある。

一方、騒音制御については、ジョイントの騒音発



(a) ジョイント下部の音
(コントロールビーム上走行)



(b) ジョイント下部の音
(サポートビーム上走行)

図 17 緩衝ゴムの騒音制御効果

生源に着目して制御を行うことで、ジョイントから発生する騒音を効果的に減少できることが明らかとなった。

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] Ramberger, G: Structural bearings and expansion joints for bridges, Structural Engineering Documents 6, IABSE, Zurich, Switzerland, 2002.
- [2] 富田直幹他：道路橋モジュラー型ジョイントの騒音制御に関する基礎研究，土木学会第 59 回年次講演会概要，I-409, 2004.
- [3] 加藤誠之他：道路橋モジュラー型ジョイントの騒音発生機構に関する基礎研究，土木学会第 59 回年次講演会概要，I-447, 2005.
- [4] 小澤亨他：道路橋モジュラー型ジョイント騒音の実車走行試験とパラメーター分析，土木学会第 59 回年次講演会概要，I-037, 2004.
- [5] Jer-Nan Juang and Richard S. Pappa, An eigen-system realization algorithm for modal parameter identification algorithm for modal parameter identification and model reduction, J. Guidance, Vol.8, No.5, September 1985.