

# 橋梁伸縮装置から発生する騒音に関する検討

麻生稔彦 (社会建設工学科)

會田忠義 (社会建設工学科)

弘中雅志 (環境共生工学専攻)

鈴木崇文 (環境共生工学専攻)

## A study of a sound radiated by the bridge expansion joint

Toshihiko ASO (Department of civil engineering)

Tadayoshi AIDA (Department of civil engineering)

Masashi HIRONAKA (Division of symbiotic environmental system engineering)

Takafumi SUZUMURA (Division of symbiotic environmental system engineering)

In recent years, sounds from bridges caused by traffics has become a serious social problem. This study aims to clarify the characteristics of sound generated from bridge expansion joints. These sounds are caused by the impact of vehicle's tires to the expansion joints, therefore, this paper investigates the relationship of sound characteristics to shape and type of material of expansion joints. Spectral analysis was carried out using the results of measured sound caused by rubber-type and steel-type of expansion joints with three different sizes. Analytic results reveal that peak frequency differs according to the size of expansion joint under low-frequency.

*Key Words:* low frequency sound, bridge, expansion joints, spectral analysis

### 1. はじめに

現在、わが国には高速道路をはじめ多くの高架橋が存在する。特に、近年には都市域の居住区に隣接する高架橋が増加している。それにつれて車両通過時に橋梁から放射される騒音は、昭和 50 年代初めごろから都市域高架橋を中心に、道路公害として社会問題化してきた。

橋梁から放射される騒音には可聴域の騒音と非可聴域の騒音がある。このうち非可聴域 (20Hz 以下) である低周波音空気振動 (低周波音) がある音圧レベル以上に達すると、人体や住民環境に悪影響を与えるこ

とが報告されている<sup>1), 2)</sup>。このような騒音に対して有効な低減対策を実施するためには、騒音の発生源、発生のメカニズム、騒音の程度を把握することが必要不可欠であると考えられる。

橋梁から放射される騒音は、①車両のタイヤと路面の摩擦により発生する走行音、②橋梁の振動により発生する構造音、③車両が伸縮装置通過時に発生する衝撃音等に大別できることが知られている。これらの騒音の内、低周波音は構造音と衝撃音に含まれる<sup>3)</sup>。構造音についてはその発生機構や、橋梁振動と発生騒音の関係等についてこれまでも種々の研究がなされている<sup>4) -6)</sup>。このうち大島らは橋梁の振動解析と平面音波の式より最大音圧レベルを推定する式を提案して

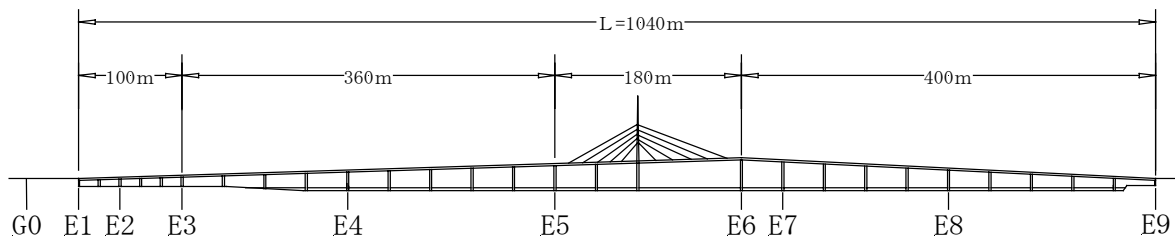


Fig.1 Side-view of Suoh-ohashi

Table 1 Details of expansion joints

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Material	Rubber				Steel		Rubber		
Width (mm)	175	305	315	740	790	740	430	900	430

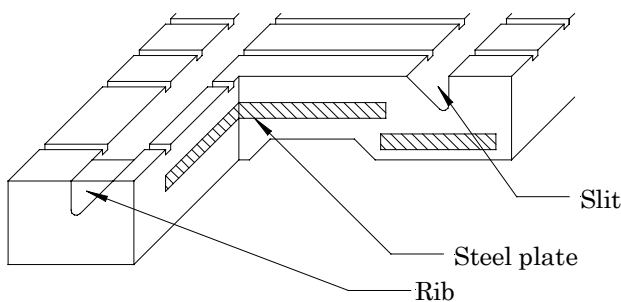


Fig.2 Rubber type expansion joint

いる<sup>7)</sup>。これに対して、衝撃音（ジョイント音）に関する研究は少ない現状にある。これは、衝撃音が伸縮継手部の段差や端部剛性、走行車両の重量や速度、路面凹凸など種々の要因により影響を受けるため、定性的、定量的評価が困難なためであると考えられる。

そこで本研究では、衝撃音の実態に関する基礎的な資料を得ることを目的として、実橋梁の伸縮装置部から放射される騒音を測定し、その音圧レベルおよび周波数特性について検討した。衝撃音は伸縮装置の材質や形状により特性が異なると予想されるため、今回は鋼製およびゴム製の伸縮装置を対象とする。騒音の測定は橋面上および橋脚下端において実施し、それぞれ普通騒音計と低周波騒音計による測定を行った。なお、衝撃音は伸縮装置のみならず路面の状態にも依存する。そのため本研究ではほぼ同一の路面状態であろうと考えられる単一の橋梁において種々の伸縮装置についての測定を行った。

## 2. 対象橋梁

本研究では、材質が異なり比較的大きな伸縮装置を有する周防大橋を対象とする。本橋は山口市秋徳二島

から同市深溝にいたる榎野川河口に架設されており、全長 1040m、幅員 10.5m の PC コンクリート連結橋と鋼 3 径間連続斜張橋からなる。本橋の側面図を Fig. 1 に示す。なお、本橋ではこれまでに騒音に関する苦情などは報告されていない。

本橋は、Fig. 1 に示す E1～E9 の計 9 個の伸縮装置を有しており、伸縮装置の概要を Table 1 に示す。E1～E4 および E7～E9 はネオプレンゴム製の伸縮装置であり、E5 と E6 は鋼製フィンガージョイント形式の伸縮装置である。ここで、ゴム製伸縮装置は Fig. 2 に示すように伸縮用溝を有し、内部には補強用の鋼板が設置されている。

本橋は平成 4 年 3 月に開通して約 8 年が経過しているが目視の限りでは路面の状況は良好であり、伸縮装置の前後にも大きな凹凸は認められなかった。また、路面の損傷や騒音の発生に密接に関連するため、本橋の交通量を計測した。交通量の計測では東に向かう車線を上り車線とし、10 分間に走行した車両を大型車、普通車（軽四輪を含む）別に、上り車線のみ交通量と上下線の合計の交通量を計測する。10：00～16：00 の間に計測した交通量を Table 2 に示す。これによると 10 分間の平均交通量は、上り車線で 64 台に対し上下線を合計すると 125 台とほぼ 2 倍の交通量であるため上下線、下り車線とも交通量はほぼ等しいことがわかる。また、上下線合計の交通量は正午前後に少なくなっている。

## 3. 測点および測定方法

周防大橋における騒音測定では E3～E7 の計 5 カ所の伸縮装置を対象とした。これらの測点では、橋面上において東行き車両（Fig. 1 では左方向）が通過する

Table 2 Traffic volume

Time	Eastward traffics			Time	All traffics		
	Truck	Automobile	Total		Truck	Automobile	Total
10:50-11:00	18	36	54	10:30-10:40	31	103	134
11:06-11:16	31	36	67	11:18-11:28	37	102	139
11:33-11:43	25	31	56	11:45-11:55	28	80	108
12:02-12:12	19	41	60	12:14-12:24	19	76	95
12:28-12:38	11	50	61	12:40-12:50	30	91	121
13:50-14:00	13	41	54	14:01-14:11	34	87	127
14:15-14:25	24	40	64	14:26-14:36	32	110	142
14:40-15:10	21	51	71	14:50-15:00	36	93	129
15:01-15:11	15	45	60	15:13-15:23	34	105	139
15:26-15:36	24	65	89	15:38-15:48	19	97	116
Average	20	44	64	Average	30	94	125

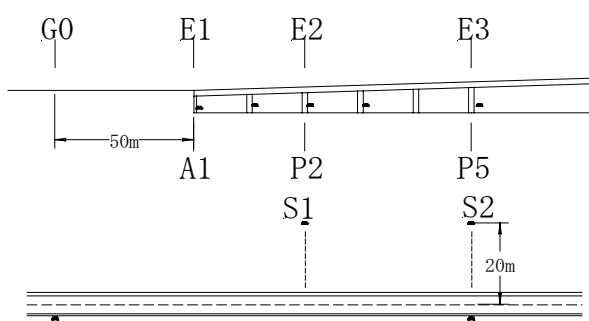


Fig.3 Ovserebed points at side and under the bridge

際の普通騒音および低周波音を車種別に測定する。騒音計には防風スクリーンを装着し、計測位置は縁石より 30cm 外側、高さ 50cm である。なお、これらの橋上での測定の際には通過車両の速度も併せて測定した。車両速度は車両進行方向に 50m の間隔を測り、この区間を通過に要する時間を計測することにより車両速度を求めた。また、橋面上の測定結果と比較するために、Fig. 3 に示す E1~E3 の伸縮装置が設置されている橋台および橋脚下端 (A1、P2、P5) においても測定を行う。本来、全ての伸縮装置位置において橋梁下面側からの測定が望ましいが、本橋では陸上部にある橋脚についてのみ測定を行った。さらに、これらの橋脚から橋軸直角方向に 20m 離れた地点 (S1、S2) での騒音を測定し、騒音発生源から離れた位置での特性を比較する。なお、伸縮装置から発生する騒音と比較するために、E1 から 50m 離れた接近路に測点 G0 を設けた。以後、E3~E7 を橋上、A1、P2、P5 を橋下、S1、S2 を橋横と呼ぶ。なお、橋下および橋横での測定では、通過車両を特定することができないため、6 分間継続して測定した。

橋上、橋下、橋横の各測点で、低周波音および普通騒音の測定を行う。測定したデータは、後に周波数解

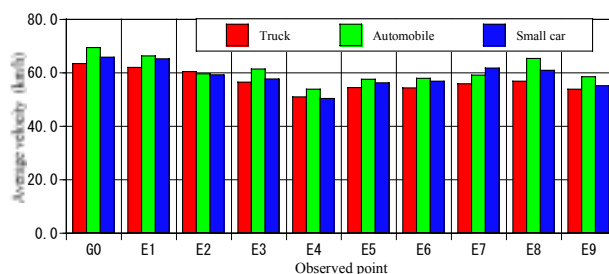


Fig.4 Average traffic velocity

析を行うため感覚補正は行わないこととし、低周波音は LSPL、普通騒音は F 特性で測定した。測定データは、テープに記録すると共に、レベルレコーダに出力し車両通過時に発生する音圧レベルの最大値を読み取る。さらに、各測点における騒音の周波数成分の検討を行うために、現場でテープに記録したデータを A/D 変換し、低周波音は 1.6~20Hz、普通騒音は 20~100Hz の周波数範囲で音圧のフーリエスペクトルを求めた。

## 4. 測定結果

### (1) 音圧レベル

橋上での測定結果より、伸縮装置を通過する車両の速度と音圧レベルの関係を検討する。

Fig. 4 は周防大橋の各伸縮装置を通過する東行き車両の平均速度を車種別に示したものである。本橋は E6 を頂点とした縦断勾配を有しており、頂点付近で速度が減少し、両端部において速度は速くなっている。この傾向は車種によらず見られる。

各測点で記録した最大音圧レベルと車両速度との関係の例を Fig. 5 に示す。Fig. 5 において、G0 は橋梁

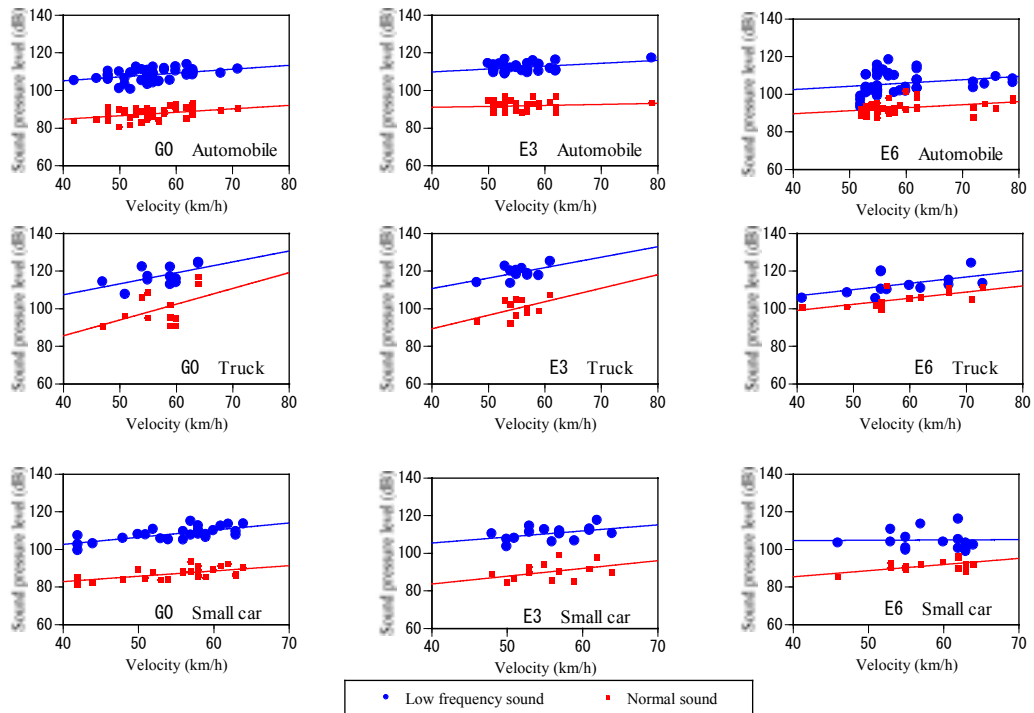


Fig.5 Relationship between traffic velocity and sound pressure level

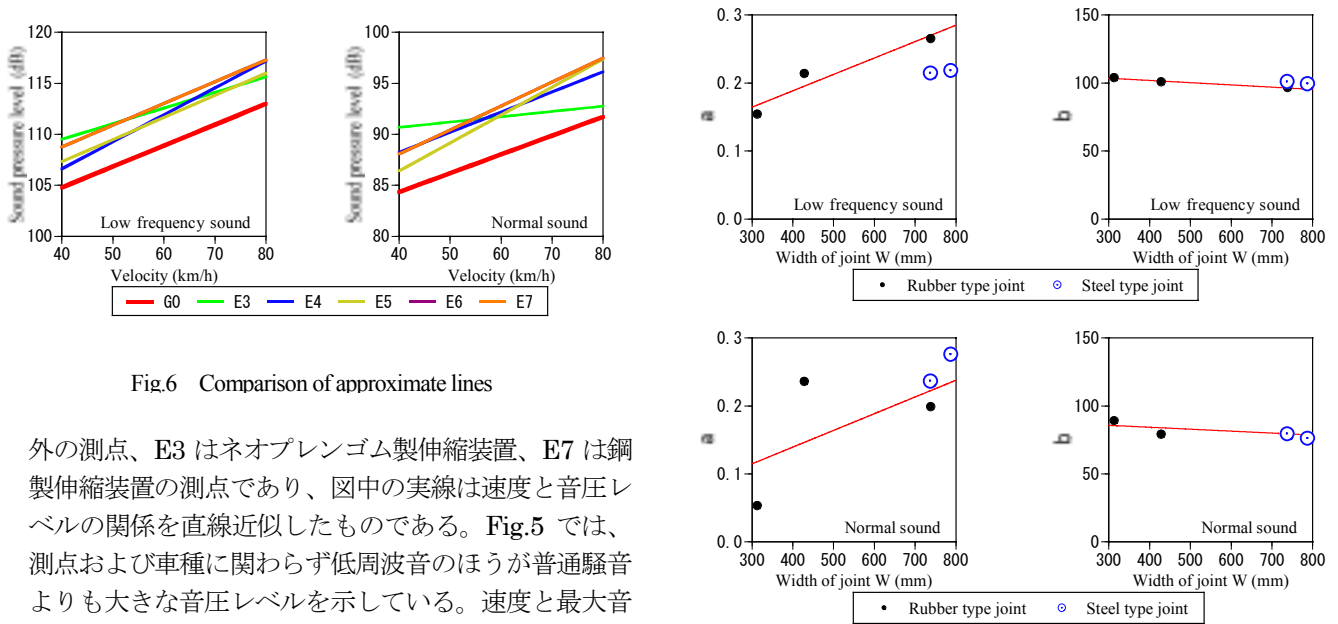


Fig.6 Comparison of approximate lines

外の測点、E3 はネオブレンゴム製伸縮装置、E7 は鋼製伸縮装置の測点であり、図中の実線は速度と音圧レベルの関係を直線近似したものである。Fig.5 では、測点および車種に関わらず低周波音のほうが普通騒音よりも大きな音圧レベルを示している。速度と最大音圧レベルとはほぼ比例関係にあり、車両が通過する際に発生する最大音圧レベルは車両速度が速くなるにつれて大きくなることわかる。また、車種別には大型車は他に比べて音圧レベルが大きく、また近似線の傾きも大きくなっている。橋上で測定を行った全測点において同様の傾向を示した。

Fig. 5 で得られる近似直線を、最もデータ数が多い普通車について比較すると Fig. 6 となる。伸縮装置部分の測点における最大音圧レベルは、橋外の測点 G0 よりも大きくなっており、伸縮装置部分での衝撃音の

発生が推測される。Fig. 6 中の近似線は次式で示される。

$$L_{\max} = aV + b \tag{1}$$

ここで、 $L_{\max}$  は最大音圧レベルであり  $V$  は車両速度 (km/h)、 $a$  と  $b$  は定数である。低周波音および普通騒音のそれぞれについて、伸縮装置の材質別に式(1)中

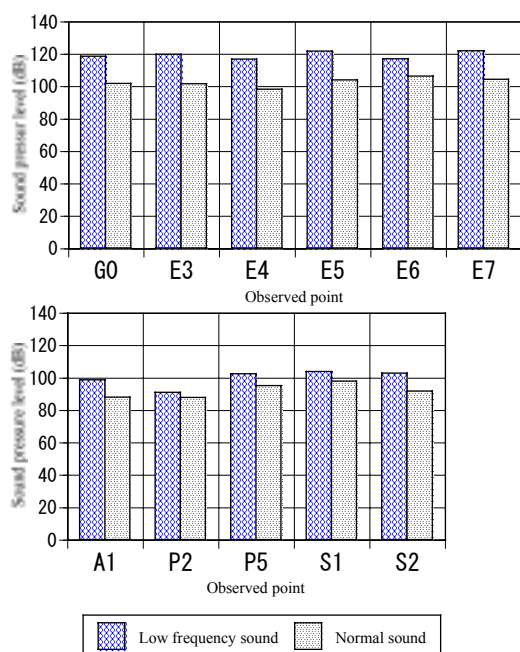


Fig.8 Comparison of sound pressure level

の  $a$  と  $b$  を伸縮装置の全幅について図示すると Fig. 7 となる。この図より、普通騒音の  $a$  はばらつきが大きいものの、ほぼ  $a$  と  $b$  は伸縮装置全幅と相関があるものと考えられる。また、騒音の種類によらず  $a$  についてはゴム製伸縮装置と鋼製伸縮装置とでは全幅との関係が異なっている。データ数が少ないものの、全幅が 305~740mm のデータが得られたゴム製伸縮装置について  $a$  および  $b$  を直線近似すると次式となる。

低周波音

$$a = 2.41 \times 10^{-4} W + 9.07 \times 10^{-2} \quad (2)$$

$$b = -0.017W + 108 \quad (3)$$

普通騒音

$$a = 2.46 \times 10^{-4} W + 3.98 \times 10^{-2} \quad (4)$$

$$b = -0.0143W + 89.6 \quad (5)$$

ここで、 $W$  は伸縮装置全幅(mm)である。式(2)~(5)を式(1)に用いることにより普通車走行時にゴム製伸縮装置から発生する騒音の音圧レベルが推定できる。

橋上、橋下、橋横の測点における音圧レベルより、伸縮装置付近の騒音の特徴を検討する。レベルレコーダーにより得られた音圧レベルについて、低周波音と普通騒音のそれぞれの各測点における音圧レベルの上位 10 個のデータを平均し、測点別に比較して Fig. 8 に示す。橋上の測点では音圧レベルはほぼ等しく、G0 の結果とも大差がない。普通騒音、低周波音ともに、音圧レベルは橋上が最大であり、次いで橋横、橋下の順となっている。伸縮装置までの距離は、橋横は 20m

であるにもかかわらず、5m 前後しか離れていない橋下よりも音圧レベルが大きい。これは、橋上、橋横での測定においては、通過車両自体から放射される騒音が含まれるため、橋下よりも大きくなっていると考えられる。

以上のように、ゴム製伸縮装置では発生騒音の音圧レベルと伸縮装置幅および車両速度との関係が明らかとなった。鋼製伸縮装置でも同様の関係があると考えられるがデータ数が少ないため、伸縮装置の材質が音圧レベルに与える影響を明らかにすることはできなかった。

## (2) 周波数特性

伸縮装置の材質、形状と音圧レベルの関係について上述のような検討を行ったが、普通騒音と低周波音では周波数特性が異なる。そこで、発生騒音の周波数分析を行い、周波数特性について検討する。観測された音圧の時刻歴より求めたフーリエスペクトルの例を Fig. 9 に示す。Fig. 9 では橋上 (E3)、橋下 (P5)、橋横 (S2) で得られた低周波音と普通騒音についてそれぞれ示している。これらのスペクトルでは測点および騒音の種類毎に卓越する周波数が異なっており、周波数特性を有するものと考えられる。

橋上の測点である E3~E7 および G0 において、大型車と普通車の車両通過時に発生する騒音のフーリエスペクトルを求め、各スペクトルで卓越する周波数を上位 3 個読み取りまとめた図を Fig. 10 に示す。なお、Fig. 10 では各車両の速度は異なっている。低周波音では測点・車種・速度にかかわらず、また基準測点として測定した G0 においても、2.0Hz 付近に卓越する周波数が見られる。したがって、この付近の周波数は、車両から放射される周波数であると考えられる。一方、普通騒音では全測点において 40~80Hz に卓越する周波数が見られるが、伸縮装置ごとの特徴は見られない。橋横の測点でも橋上の測点と同様の傾向にある。

橋上の測点での周波数特性には各伸縮装置の特徴が見られなかったため、通過車両の影響が少ないと考えられる橋下での周波数特性について検討する。Fig. 11 は各橋下測点で得られたフーリエスペクトルより卓越する周波数を上位 10 個を読み取りまとめたものである。なお、橋下測点では通過車種の特定ができないため、各測点毎に 10 個のスペクトルによる結果を示している。普通騒音は各測点とも 20~40Hz に卓越する周波数が見られ、P5 では 60~80Hz 付近の卓越もある。一方、低周波音では測点毎に卓越する周波数成分が異なっている。

A1 では 6~8Hz 付近、P2 では散らばりが大きいもの

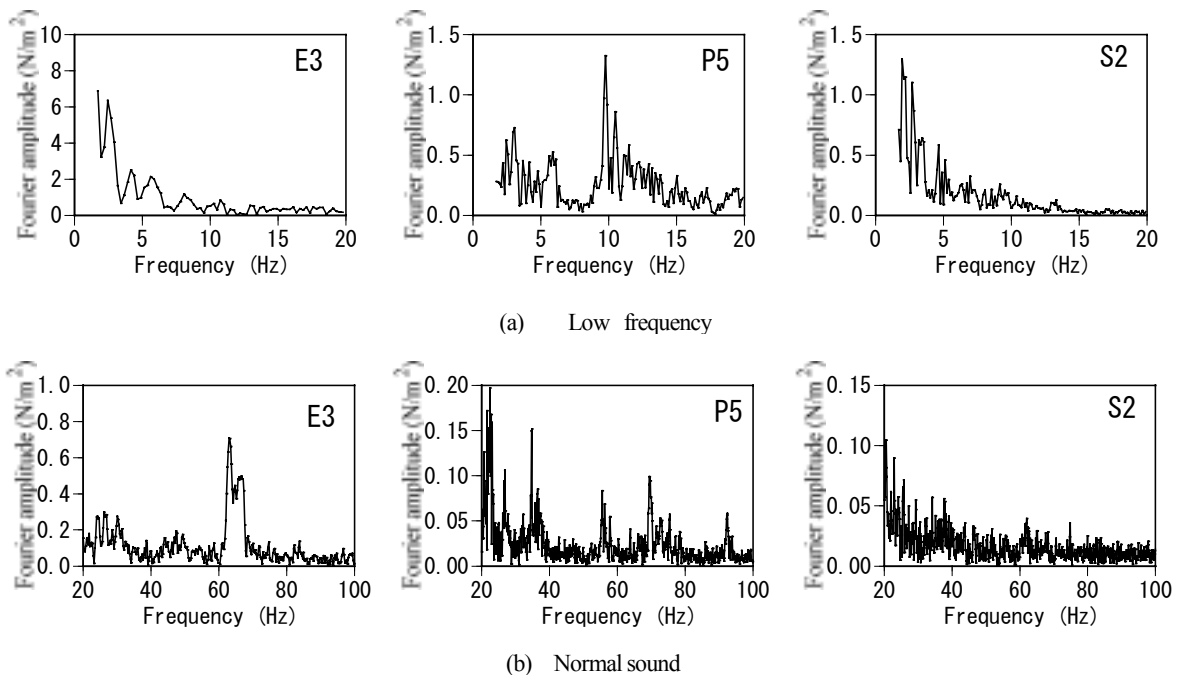


Fig.9 Fourier spectrum

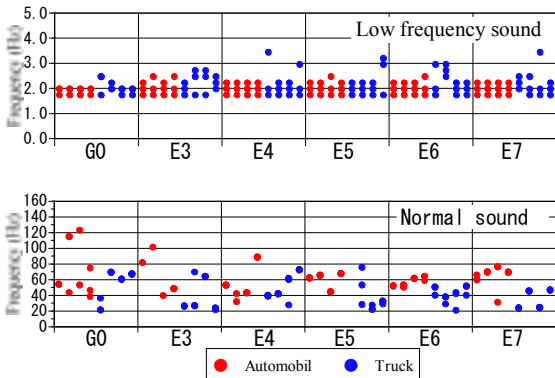


Fig.10 Peak frequency at the surface of bridge

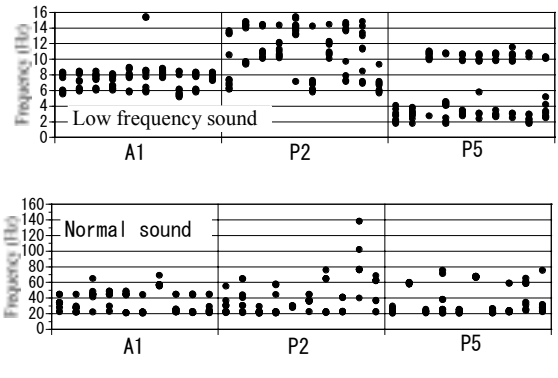


Fig.11 Peak frequency at the foot of piers

の 14Hz 付近に卓越する成分がある。また、P5 に見られる 2~4Hz 付近の卓越周波数は橋上の測点でも認められた周波数成分であるが、他に 10~12Hz 付近に卓越する周波数が見られる。これらの測点では全てゴム製の伸縮装置が用いられていることから、伸縮装置から発生する低周波音の周波数特性は、伸縮装置の形状により異なることが明らかとなった。

### 5. おわりに

実橋梁における伸縮装置付近から放射される騒音について、音圧レベルと周波数特性について検討した。これにより得られた知見を以下に示す。

#### (1) 音圧レベルについて

車両が通過する際に発生する騒音は低周波音の影響が大きく、音圧レベルは低周波音、普通騒音とも車両速度に比例して大きくなる。また、最大音圧レベルは車両重量が重いほど大きくなる。普通車通過時に限れば、伸縮装置付近を通過する際に発生する騒音の音圧レベルは通過速度および伸縮装置幅より推定できることを示した。

#### (2) 周波数特性について

橋上で測定された低周波音には、全測点において通過車両から放射されると考えられる 2~4Hz 付近の周波数成分が含まれている。これに対して、橋下で測定を行うと、車両から放射される騒音の影響が少なく、騒音の周波数解析を行うことで伸縮装置毎の特徴を知ることができる。特に今回は低周波音について伸縮装

置の形状による周波数特性が顕著に認められた。また、本橋梁においては橋横 20m 離れている場所で測定した騒音の周波数特性は橋上で観測された騒音の周波数特性と同様であった。

本研究は周防大橋の伸縮装置から発生する騒音について解析した。これにより伸縮装置の形状により発生する騒音の周波数特性が異なることが明らかとなったが伸縮装置の全幅と騒音の関係あるいは材質と騒音の関係を明らかにすることはできなかった。したがって、今後より多くの異なった伸縮装置から発生する騒音を測定し、データの蓄積を図る必要である。

## 謝辞

本研究の実施にあたっては、橋梁の選定や現地での騒音測定について山口県土木建築部および山口土木建築事務所にご助力いただいた。記して感謝いたします。また、本研究の一部は科学研究費補助金（課題番号 11750426）により実施した。

## 参考文献

- 1) 町田信夫：低周波音の影響，騒音制御 Vol.23 No.5, pp.302-305, 1999.
- 2) 井上保雄：低周波音の実態と対策，騒音制御 Vol.23 No.5, pp.311-318, 1999
- 3) 五郎丸英博：橋の騒音と発生騒音，振動制御 Vol.22 No.5, pp.270-277, 1998.
- 4) 今市憲作，辻本良信，高島伸，北川晃一：道路橋の振動に伴う音響放射の理論解析，日本機械学会論文集（C編）46巻408号，pp.904-912, 1980.
- 5) 深沢泰晴，杉山俊幸，中原和彦，水上浩之：車両走行時に道路橋から放射される低周波音の基本特性，構造工学論文集 Vol.37A, pp.945-956, 1991.
- 6) 五郎丸英博，白石捷夫，原公，小森武：単一走行車両による単純桁橋の低周波空気振動の解析，土木学会論文集 第 427 号/ VI-14, pp.133-142, 1991.
- 7) 大島俊之，能町純雄，月田良博，三上修一：はり理論による低周波空気振動の放射音圧レベルの解析，土木学会論文集 第 356 号/ I -3, pp.527-536, 1985.
- 8) 五郎丸英博，白石捷夫，原公，小森武：中小支間道路橋における低周波空気振動の放射音圧レベルとスペクトルの推定，土木学会論文集 第 403 号/ VI-10, pp.137-145, 1989.

(平成 12 年 8 月 31 日受理)