

鋼橋およびコンクリート橋から放射される低周波音特性の比較と 鋼橋の防音対策に関する一考察

Characteristics of low-frequency sound radiated from both steel and concrete girder highway bridges
and reduction measure against low-frequency sound radiated from steel ones

杉山俊幸*、小林俊哉**、清水顕誠***

Toshiyuki Sugiyama, Toshiya Kobayashi, Kenjou Shimizu

* 工博、山梨大学助教授、工学部土木環境工学科 (〒400-8511 甲府市武田4-3-11)

** 飛鳥建設株式会社土木部 (〒102 東京都千代田区三番町2番地)

*** 山梨大学大学院博士前期課程、工学研究科土木環境工学専攻 (〒400-8511 甲府市武田4-3-11)

Low-frequency sound radiated from both steel and concrete girder highway bridges which are located on Chuo Express Highway was measured. And these field measured data are compared with the numerically calculated values. The results show that the numerically calculated values agree well with the field measured data. It has been also concluded that significant difference has not been recognized between the low-frequency sound radiated from steel bridges and that radiated from concrete bridges in case that surface flatness at the both ends of bridge girder is maintained. Furthermore, it has been revealed that, as one of the countermeasures to reduce the low-frequency sound radiated from steel girder, the sponson beam type bridge may be effective in case that the evenness on the surface at the bridge ends is large and travelling velocity of the vehicle is high.

Key Words: low-frequency sound, bridge vibration, sponson beam

1. はじめに

車両走行時に道路橋から放射される騒音問題は、昭和50年代の初め、中央自動車道に架設された葛野川橋（山梨県大月市）などの周辺住民から苦情が寄せられたのを契機に、新しいタイプの道路公害として社会問題化した^{1),2)}。そして、この問題の解明に向けて数々の実測とその分析が関係各機関で行われた^{3),4)}が、現場実測により得られるデータの分析のみでは、種々の確定し難い要因の影響もあり、問題の完全解明には至っていない。さらに近年では、道路橋や鉄道橋の高架化・長大化が進み、また、走行車両が大型化・高速化するに伴い、走行車両による橋梁振動に起因して放射される低周波音が大きく注目されるようになってきており、これまでに数多くの実測データの分析や理論解析が行われてきている^{5)~9)}。

著者の1人らも橋梁の振動に伴って放射される騒音について理論的なアプローチをこれまでに試み、その特性をある程度定量的に明らかにしてきた¹⁰⁾。しかしこの研究においては、用いた理論解析手法の妥当性を検証するための実測結果との比較は行われていない。また、仮に解析手法が妥当であるとの確認がなされたとしても、文

献10)では、鋼橋のみを対象とし、コンクリート橋に関しては取り扱われていない。かねてより、鋼橋とコンクリート橋では、鋼橋の方が騒音が大きいと言われてきているが、果たしてこれが真実であるか否かについては詳細に検討されていないのが実情であろう。

一方、鋼橋の防振・防音対策に目を向けてみると、今日までに様々な実測や分析などが行われ、防振・防音対策が提案され講じられてきている。例えば、主桁への動吸振器の設置¹¹⁾や、ジョイント部の剛性増加¹²⁾などの対策が採られてきている。また、最近では、放射される騒音そのものの低減ではなく、放射される音を吸音板等を用いて吸収し、周辺に拡がる騒音を抑制しようとする試みも積極的になされている¹³⁾。しかし、これといった決め手となる対策方法が明らかにされていないのも実状である。こうした状況の下、橋梁の伸縮装置部に生じる段差が低周波音発生の大きな原因であることが文献10)で明らかになっていることから、この段差の影響を軽減するよう試みるのも防音対策の1つのアプローチとして考えらる。

そこで本研究では、まず、中央自動車道に架かる鋼橋およびコンクリート橋から放射される低周波音を実測するとともに、これらの橋梁をモデル化し理論解析を行っ

て両者の結果を比較すること、および、車両走行時に鋼橋とコンクリート橋から放射される低周波音特性の違いについて検討することにする。

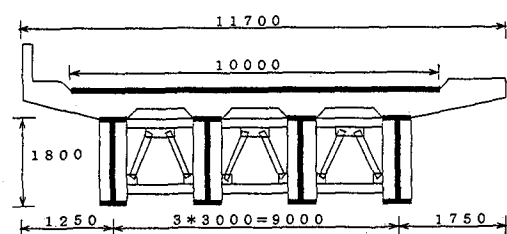
そして、理論解析手法が概ね妥当であるとの確認が得られた場合には、単一車両と単純支持された鋼桁橋またはコンクリート桁橋から成る車両－橋梁連成系の振動をこの解析手法を用いて解き、任意受音点での音圧レベルを算出して、両橋から放射される低周波騒音特性の違いを比較検討することにする。

さらに、比較的簡単な鋼橋の防音対策という観点から、主桁を桁端部に鉛直ばねを取り付けた張出し桁タイプに

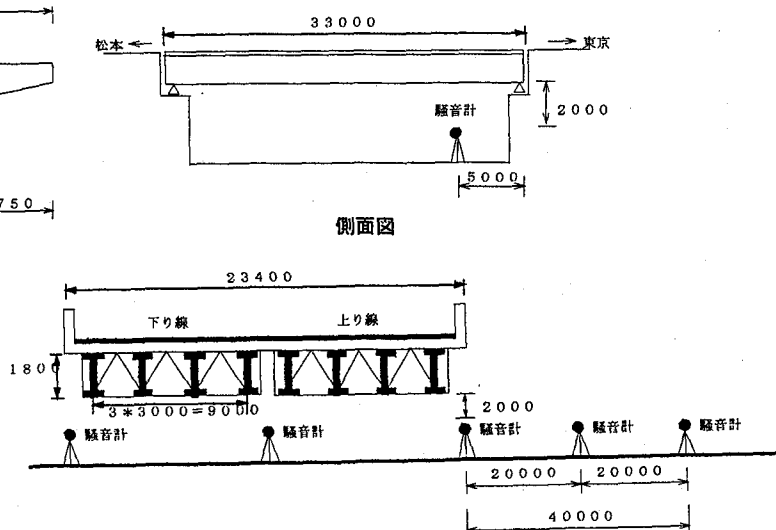
することを考え、単純支持桁との低周波音特性の比較を理論解析結果に基づいて行い、低周波音の低減効果が現れるかどうかを検討する。

2. 実測した橋梁と低周波音計測位置および解析方法

実測の対象としたのは、中央自動車道に架かる橋長33 mの鋼単純合成 I 桁橋、および、支間長32.9 mのPC単純支持桁橋の2橋である。低周波音測定は、橋台から橋軸方向に約5 m離れた主桁下約2 mの位置で、橋軸直角方向に関する橋幅中央下と上り線・下り線地覆下、さらに



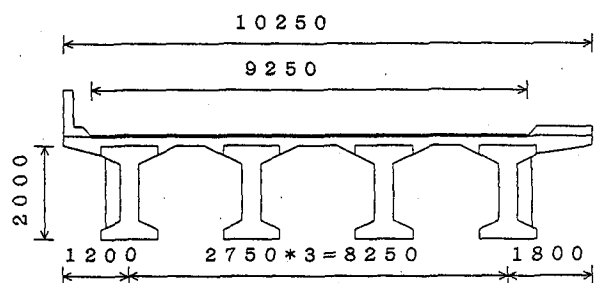
断面図



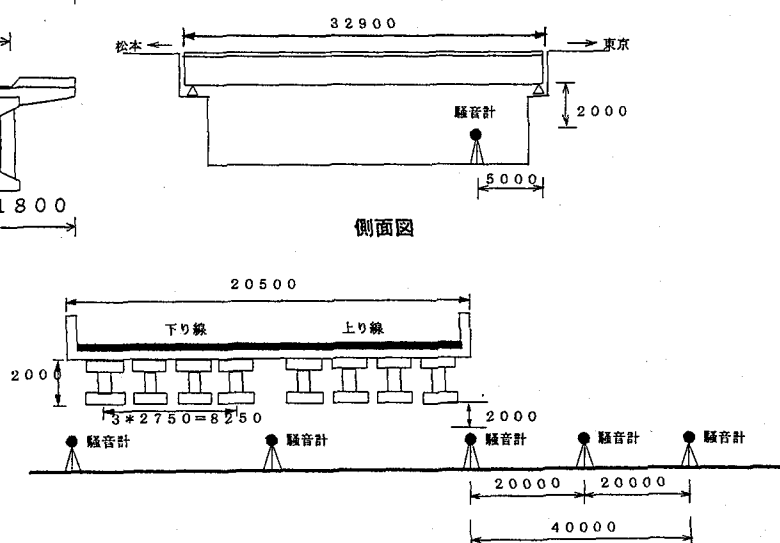
側面図

単位：mm

図－1 (a) 実測した鋼 I 桁の断面図、側面図、および、低周波音測定位置



断面図



側面図

単位：mm

図－1 (b) 実測したPC I 桁の断面図、側面図、および、低周波音測定位置

距離による低周波音の減衰特性を分析するために地覆下から20m、40m離れた地点で行った。図-1に、実測の対象とした2橋の断面図、側面図、および、低周波音測定位置の概要を示す。低周波音の測定は、橋梁上を走行する車種や車両重量の特定が困難なため、サンプリング間隔および計測時間を各々0.001秒、10秒として低周波音のみを10回測定し、周波数ごとの音圧レベルの最大値を算出した。

解析においては、実測の対象とした橋梁上部構造を1本の桁とし、この桁と同じ振動を、幅が橋梁の幅員、長さが橋梁の支間長と等しい1枚の版がするとしてモデル化を行い、この版から放射される低周波音を任意位置で算出している。数値解析では、数値積分に Newmarkの β 法を用いた有限要素法を使用し、任意受音点での音圧レベルは、各要素から放射される音圧の重ね合わせにより算出している。解析モデルとしては、文献10)と同様、車両に関しては2軸4自由度系モデルを採用して、バネ上重量や車両走行速度をパラメトリックに変化させ、橋梁については、3章の実測結果との比較においては、実測した橋梁の諸元を用いて表-1に示すようにモデル化し、4章および5章においては、支間長や伸縮装置部の段差をパラメトリックに変化させた。伸縮装置部の段差については、図-2に示すように段差を設定して解析を行った。なお、解析においては路面凹凸の影響も考慮する必

要があるが、路面凹凸が音圧レベルのピーク値に及ぼす影響についてはさほど大きくないとの結論が著者らの研究で得られている¹⁴⁾ことから、ここでは、計算の簡略化のため考慮していない。

3. 実測結果および理論解析結果との比較

低周波音としての騒音は、一般に、戸障子・窓ガラスなどがガタガタなることもなく、どんな低周波音も感知されない領域(I)、戸障子・窓ガラスなどがガタガタ鳴ることはないが、低周波音が何らかの形で感知され、生理的な苦痛を感じる場合が多い領域(II)、低周波音自体は、直接的には感知されない場合が多いが、戸障子・窓ガラスなどがガタガタ鳴るという物理的な現象によって間接的に感知される領域(III)、および、建具類がガタガタ鳴る一方で、低周波であっても音圧レベルが高いため「音」としても感知される場合が多く、低周波音公害としてかなり厳しい状況にさらされる領域(IV)の4つに大別される^{15),16)}(図-3～図-7、図-9～図-11、図-13～図-17の図中に表示)。

図-3は、幅員中央直下での鋼橋とコンクリート橋の低周波音の音圧レベルの実測値を点で、また、解析値を線で示したものである。なお、解析においては、走行車両台数は1台で、車両重量25tonf、車両走行速度80km/h

表-1 実測した橋梁の諸元

	鋼 I 桁橋	PC I 桁橋
支間長 [m]	32.5	32.5
単位長さ当りの重量 [kgf/m]	10845	17933
曲げ剛性 [kgf・cm ²]	5.10×10^{13}	4.29×10^{13}

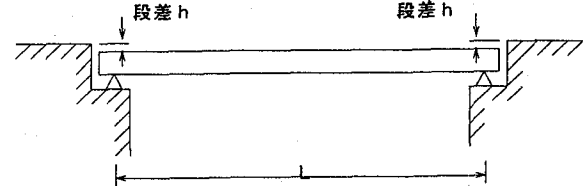


図-2 伸縮装置部の段差の設定

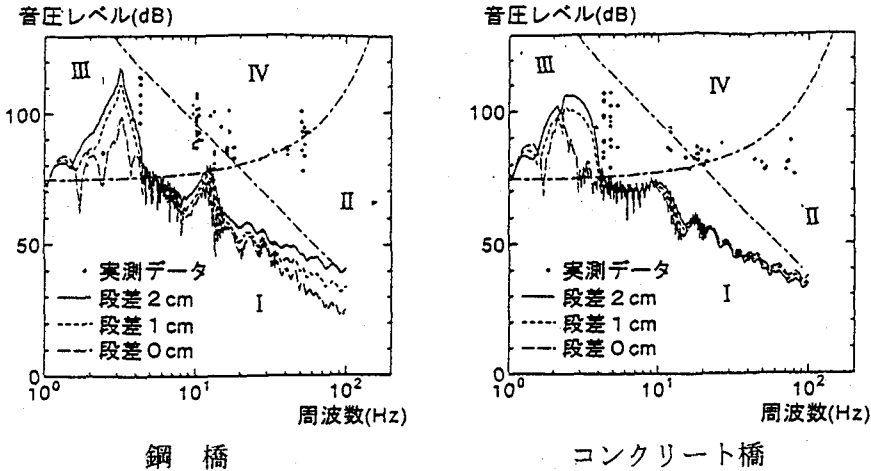


図-3 橋桁直下での低周波音の音圧レベルの実測値と解析値

とし、伸縮装置部の段差をパラメータとして変化させている。これより、実測値に関しては、

- 1) 鋼橋はコンクリート橋と比べてピーク時で約4 dB音圧レベルが高く、周波数が高くなっても音圧レベルは下がらずに領域IVに多く分布していること、
- 2) 逆にコンクリート橋は、周波数が高くなるにつれて音圧レベルが下がっており、領域IVの分布が少なくなっていること

がわかる。これらの結果は、鋼橋の方が音として感知される低周波騒音公害を生じさせている可能性が高いこと、さらには、鋼橋には高周波成分のエネルギーがより多く含まれていることを意味している。

解析値に関しては、

- 1) 鋼橋とコンクリート橋の両者とも橋梁端段差がある場合の方が音圧レベルが高くなっていること、
- 2) 段差がある場合は鋼橋の方がコンクリート橋よりも10 dB程高くなっていること

がわかる。

実測値と解析結果を比較すると、鋼橋・コンクリート橋とも1次固有振動数については多少ずれがあるものの、

音圧レベルはさほど変わらないこと、周波数が高くなるにつれて両者の差が大きくなっていることがわかる。

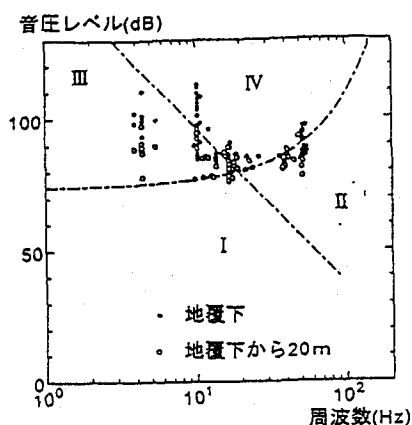
図-4 (a) は、鋼橋の場合の、地覆下と地覆下から20mおよび40m離れた地点での実測値を示したものである。これより、

- 1) 橋梁から20m離れるとピーク値で15dB程音圧レベルが低く、領域IVに含まれるものが少なくなっていること、
- 2) 橋梁から40m離れると、20mの地点よりも3~5 dB程音圧レベルが低く、特に40Hz以下の低い周波数の音圧レベルの減衰が大きいこと

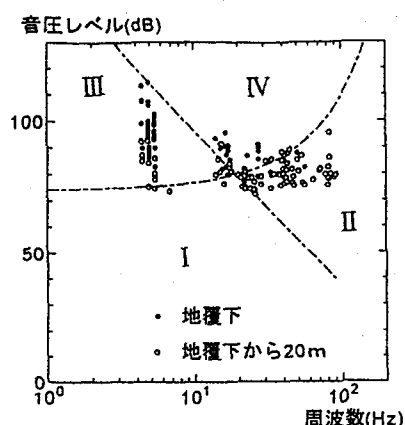
等が読み取れる。

図-4 (b) は、コンクリート橋の場合の、地覆下と地覆下から20mおよび40m離れた地点での実測値を示したものであるが、コンクリート橋の場合も鋼橋と同様のことがいえる。これより、橋梁から約40m離れば、領域(IV)に含まれるような厳しい低周波騒音公害を被る可能性はほとんどなくなるといえよう。

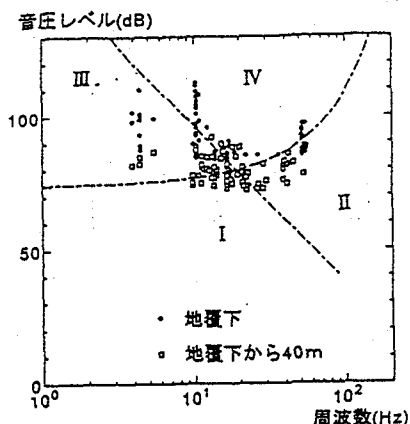
図-5 は、伸縮装置部の段差が2 cmの場合の、地覆下から20mおよび40m離れた地点での音圧レベルの解析結果を線で、実測結果(段差は不明)を点で示したものである。



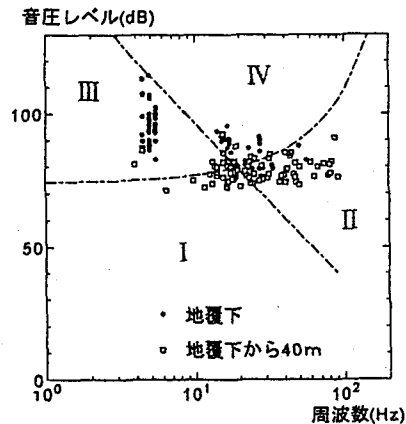
地覆下と地覆下から20mの比較



地覆下と地覆下から20mの比較



地覆下と地覆下から40mの比較



地覆下と地覆下から40mの比較

(a) 鋼橋

(b) コンクリート橋

図-4 音圧レベルの距離減衰に着目した実測結果

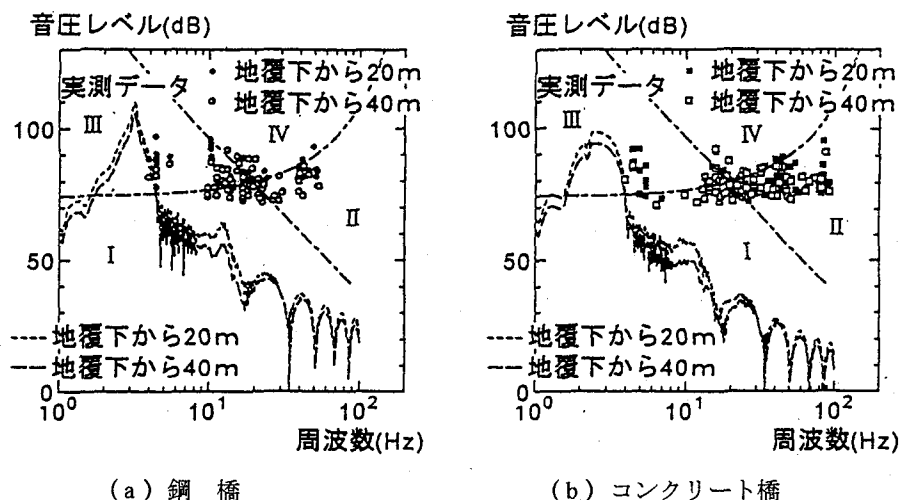


図-5 地覆から20m、40m離れた地点での音圧レベルの実測値と解析値

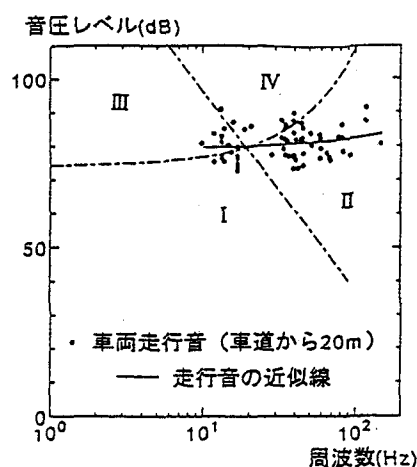
図-5より、理論解析により得られる音圧レベルは、実測値と比較して10Hz以上の周波数で大きな差が生じていることがわかるが、この差が車両走行音(車両のエンジン音やタイヤと路面の摩擦音等)に起因するのではないかと考え、車両走行音を測定した。その結果を示したのが図-6で、橋梁から遠く離れた盛土部の車道から20mおよび40m離れた地点での車両走行音をプロットしてある。これを見ると、両者とも10~150Hz付近に車両走行音の音圧レベルが分布していることがわかる。すなわち、図-5における低周波音の実測値と解析値の差は、理論解析では考慮されていない車両走行音が実測値には含まれていることに因ると考えられる。従って、橋梁上部構造の振動に伴って放射される低周波音は、ここで用いた「橋面全体がはりの振動と同じ振動をすると仮定し、橋面の振動に伴って放射される音圧の重ね合わせをする」というモデル化でも十分な精度で算出できるといえる。

4. 理論解析に基づく鋼橋・コンクリート橋から放射される低周波音特性の比較

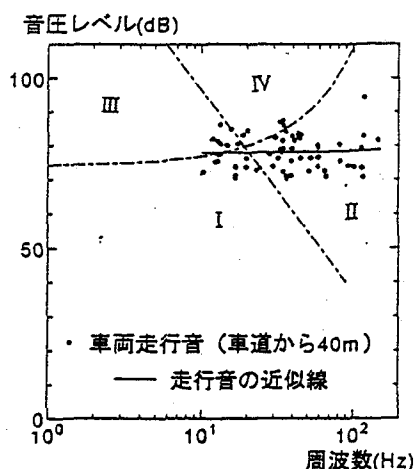
4.1 解析モデル

2章で記述した解析手法がほぼ妥当であるとの確証が前章で得られたので、ここでは、単一車両と単純支持された鋼桁橋またはコンクリート桁橋から成る車両-橋梁連成系の運動方程式を有限要素法を用いて解き、任意受音点(本論文では、支間中央30m上方)での音圧レベルを算出して、両橋の低周波騒音特性の違いを比較検討する。なお、橋梁については、鋼橋・コンクリート橋とも、幅員が10[m]で支間長30、40、50[m]の等断面単純支持桁橋を対象とした。ただし、鋼橋とコンクリート橋の違いは、橋桁の曲げ剛性と橋軸方向単位長さ当たりの重量に関して各々固有の値を用いることにより評価し、鋼橋については文献17)の値を用い、コンクリート橋について

は、JHより提供いただいたPC桁橋の構造断面図よりこれらの値を算出している。ここで用いた橋梁モデルの



20m離れた車両走行音



40m離れた車両走行音

図-6 車両走行音の実測値

表-2 橋梁モデルの諸元

	鋼 I 桁 橋			P C I 桁 橋		
支間長[m]	30	40	50	30	40	50
単位長さ当りの重量 [kgf/m]	10730	11190	12000	16510	19000	21000
曲げ剛性 [kgf・cm ²]	4.14×10^{13}	7.98×10^{13}	1.30×10^{14}	4.00×10^{13}	9.80×10^{13}	1.58×10^{14}
1次固有振動数 [Hz]	3.39	2.60	2.05	2.69	2.21	1.71
2次固有振動数 [Hz]	13.58	10.40	8.20	10.76	8.84	6.84
3次固有振動数 [Hz]	30.54	23.36	18.43	23.31	19.89	15.39

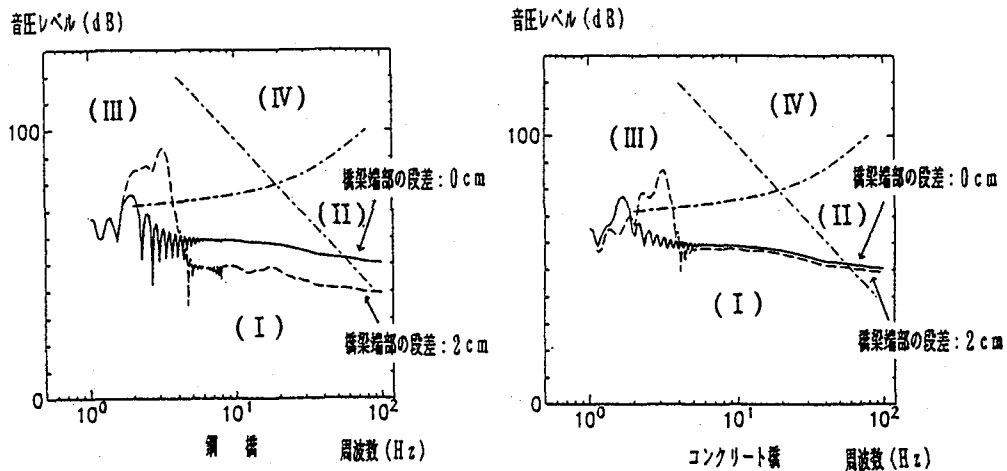


図-7 伸縮装置部の段差の有無に着目した音圧レベルのスペクトル図
(走行速度：60 km/h、段差：2 cm、支間長：50 m)

諸元の具体的な数値を表-2に示す。

4.2 数値解析結果および考察

前述したように、低周波音としての騒音は、4つの領域に大別されるが、ここでは、鋼橋やコンクリート橋から放射される低周波音が、これら4つの領域のどこに入るか、伸縮装置部の段差などの諸要因が低周波騒音特性にどのような影響を及ぼすかについて考察を加える。

まず、伸縮装置部の段差の有無が鋼橋・コンクリート橋から放射される低周波音に及ぼす影響について調べたのが図-7である。この図より、鋼橋・コンクリート橋とも伸縮装置部の段差が無い場合は、どんな低周波も感知されない領域(I)に属しているが、段差があるとスペクトル図のピークは領域(III)に現れ、戸障子・窓ガラスなどがガタガタするという低周波騒音が発生するようになることが分かる。また、橋梁端部の段差の有無がピーク時の音圧レベルの増加の程度に及ぼす影響については、鋼橋の方がコンクリート橋と比較して大きいことが図-7より読み取れる。

そこで、伸縮装置部の段差の大小とピーク時の音圧レベルの関係を調べてみたのが図-8である。これより、

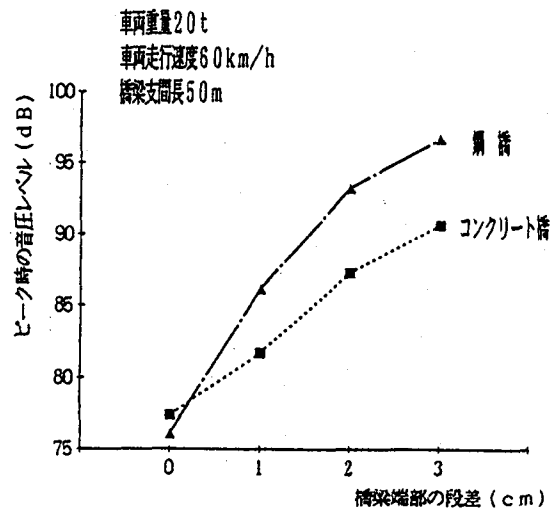


図-8 伸縮装置部の段差とピーク時の音圧レベル

伸縮装置部に段差が無い場合には、鋼橋とコンクリート橋の間にピーク時の音圧レベルの差はほとんどないものの、段差が大きくなるに従って、鋼橋はコンクリート橋と比べてピーク時の音圧レベルの増大が著しく、音圧レベルが5～10[dB]高くなっていることがわかる。

なお、図-7より、段差がある場合、10～100Hzの領域において、段差がない場合よりも音圧レベルが小さくなっているが、これは、段差の存在によって車両走行により励起される高次モードの振動が、段差のない場合よりも小さくなることに起因すると考えられる。

図-9は、車両重量と音圧レベルの関係について検討した結果を示したものであるが、鋼橋においてもコンクリート橋においても車両重量の増加が直ちに音圧レベルの増大に至らないことがわかる。

車両の走行速度と音圧レベルの関係について検討した結果を示したのが図-10である。これより、鋼橋・コンクリート橋とも、速度が増大すると音圧レベルも上昇し、

物理的な現象によって間接的に低周波音が感知される領域(Ⅲ)の低周波騒音が生じることが認められる。

図-11は、橋梁支間長の違いが音圧レベルに及ぼす影響について調べたものである。これより、①鋼橋・コンクリート橋共に、支間長30mの場合には、走行車両の固有周波数と橋桁の固有周波数がほぼ一致して高い音圧レベルが領域(Ⅲ)に現れてきていること、②支間長が40m、50mと大きくなると、走行車両の固有周波数と橋桁の固有周波数の間に差が生じ、領域(Ⅲ)における音圧レベルが5～10[dB]低くなる傾向にあること、③コンクリート橋の場合には、支間長が大きくなると音圧レベルが2Hz以上の周波数領域において小さくなっているのに対し、鋼橋の場合にはコンクリート橋のような規則的な傾向は認められないこと等が読み取れる。

以上をまとめると、

- 1) 橋梁端部の段差がなければ、鋼橋およびコンクリート橋から放射される低周波音のピーク時の音圧レベルに

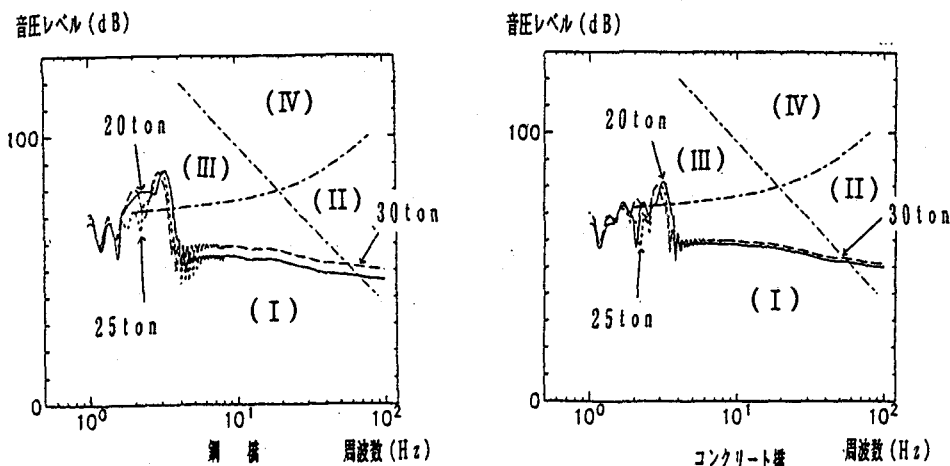


図-9 車両重量の違いに着目した音圧レベルのスペクトル図
(走行速度：60km/h、段差：2cm、支間長：50m)

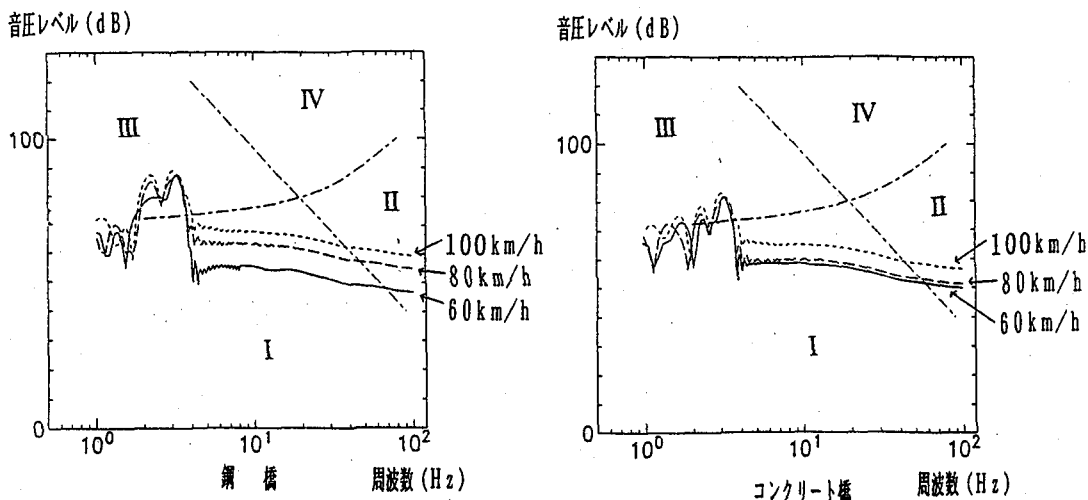


図-10 車両の走行速度の違いに着目した音圧レベルのスペクトル図
(走行重量：20tonf、段差：1cm、支間長：50m)

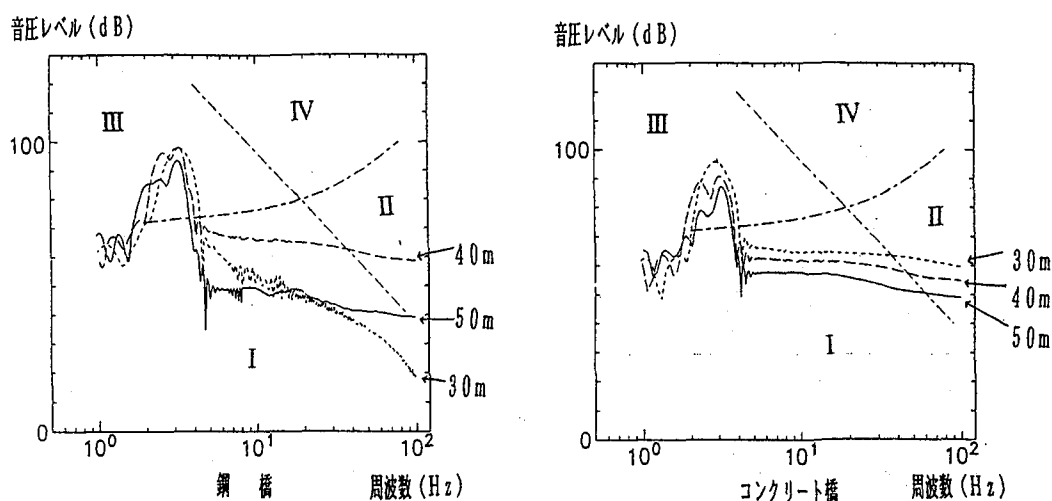


図-1 1 支間長の違いに着目した音圧レベルのスペクトル図
(走行速度：60 km/h、段差：2 cm、車両重量：20 tonf)

- は差がなく、低周波騒音としての悪影響を及ぼさない領域にほぼ収まっていること、
- 2) 橋梁端部に段差が生じると鋼橋から放射される騒音はコンクリート橋から放射される騒音と比べてピーク時の音圧レベルが急激に上昇すること
 - 3) 鋼橋・コンクリート橋とも、速度が増大すると音圧レベルも上昇し、物理的な現象によって間接的に低周波音が感知される領域(Ⅲ)の低周波騒音が生じることが認められるが、車両重量の増加は必ずしも直ちに音圧レベルの増大に至らないこと
- が結果として言える。

5. 鋼橋から放射される低周波音の低減対策

ここでは、低周波音発生の大きな原因であることが明らかになっている伸縮装置部の段差の影響を軽減するためのアプローチの1つとして、鋼製主桁を桁端部に鉛直ばねを取り付けた張出し桁タイプにすることを考え、単純支持桁との低周波音特性の比較を数値計算結果に基づいて行い、低周波音の低減効果が現れるかどうかを検討

した。具体的には、単純桁橋及び張出し桁タイプの橋梁から放射される低周波音を比較し、張出し桁タイプにすることによって低周波音が低減されるかどうか、張出し

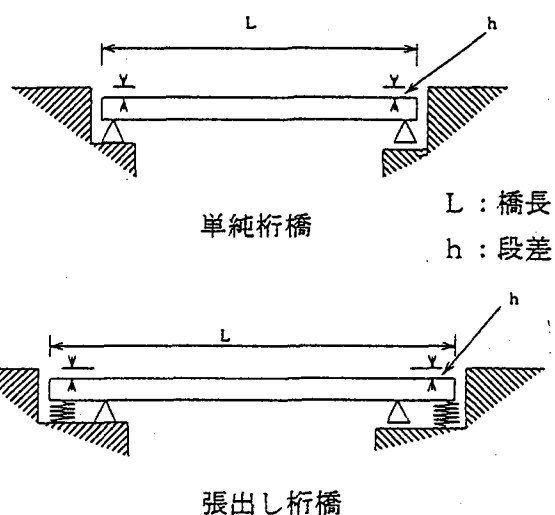


図-1 2 解析の対象とした橋梁モデル

表-3 張出し桁橋モデルの諸元

支間長 [m]	30			40			50		
張出し長さ	1.0	2.0	2.5	1.0	2.0	2.5	1.0	2.0	2.5
支点間の単位長さ当りの重量 [kgf/m]	10730			11190			12000		
張出し部分の単位長さ当りの重量 [kgf/m]	5365			5595			6000		
曲げ剛性 [kgf・cm ²]	4.14×10 ¹³			7.98×10 ¹³			1.30×10 ¹⁴		

長さ・段差の大きさ・車両走行速度などの諸要因が低減効果にどの程度影響を及ぼすかについて検討を行った。

5. 1 解析対象モデルと解析方法

解析の対象とした橋梁は、図-12に示す単純桁橋及び張出し桁タイプの橋梁(以後、張出し桁橋と表示)で、両者とも等断面桁橋とし、その諸元は、単純桁橋に関しては表-2に示した値を、張出し桁については表-3に示す値を用いることとした。また、張出し桁端部の鉛直ばねの剛性は、車両重量と張出し部分片側重量の1/2を加算した重量によって1mm 縮む値を用いることにした。なお、解析に用いた車両モデル、および、解析手法は、2章で述べた通りである。

5. 2 解析結果および考察

図-13は、張出し長さ(単純支持点から桁端までの長さ)の違いが低周波音特性に及ぼす影響について調べたものである。図-13より、張出し長さを1mとした橋長52mの場合、張出し桁橋のピーク値は単純桁橋のピーク

値とほぼ同じ値を示しているが、張り出し長さ2m、および、2.5mとした場合のピーク値は単純桁のピーク値より低くなっており、最大値は張出し長さを2.5mとしたときで約10dB低くなっていることがわかる。

次に、段差の大きさの違いが放射される低周波音に及ぼす影響を、張出し長さ2.5mの場合について調べたのが図-14である。これより、

- 1) 段差がない場合は張出し桁橋の方が単純桁橋よりも音圧レベルがわずかに高くなっていること、
 - 2) 段差がある場合、張り出し桁橋のピーク値は単純桁橋のピーク値より約5dB低くなっていること、
 - 3) 50Hz以上の音圧レベルは単純桁橋の音圧レベルより高くなっているが、低周波音公害として問題となるような領域Ⅱにはほとんど入らないこと
- 等がわかる。

図-15は、車両走行速度の違いが放射される低周波音に及ぼす影響を、張出し長さ2.5mの場合について検討し

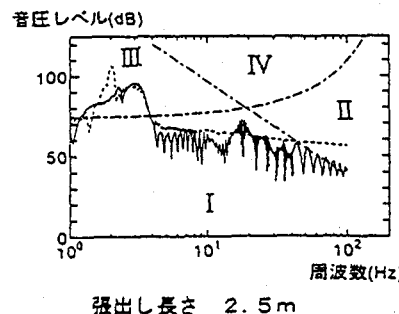
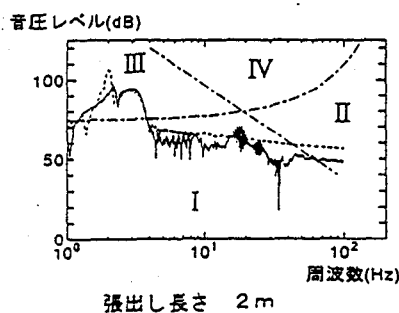
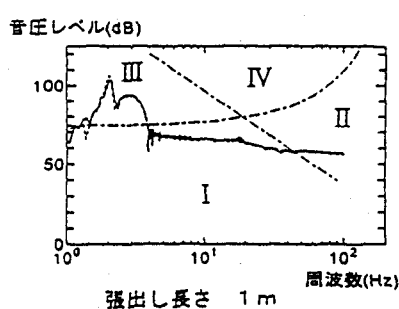


図-13 張出し長さの違いが低周波音に及ぼす影響
車両重量: 25tonf
走行速度: 120km/h
段差: 2cm

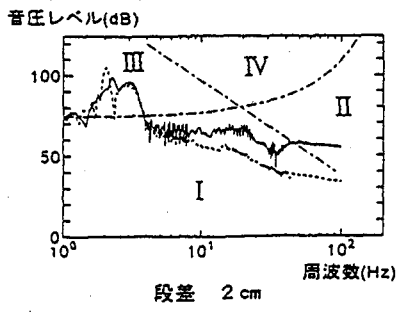
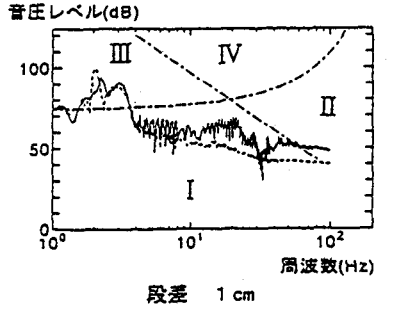
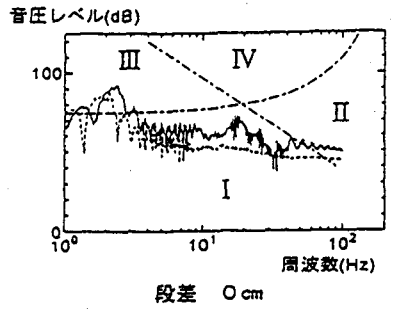


図-14 段差の大小が低周波音に及ぼす影響
車両重量: 25tonf
走行速度: 120km/h
張出し長さ: 2.5m

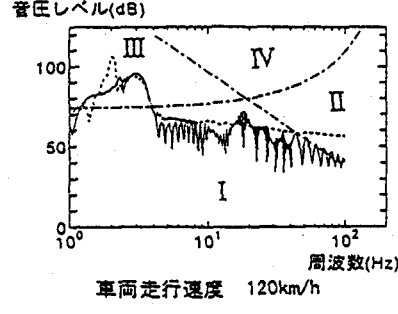
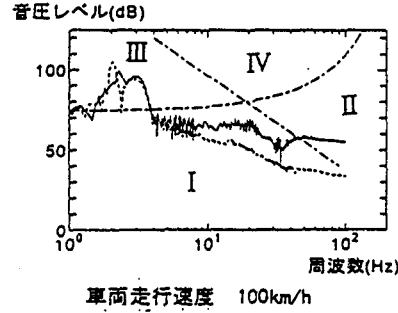
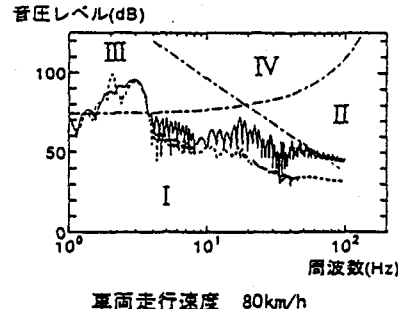
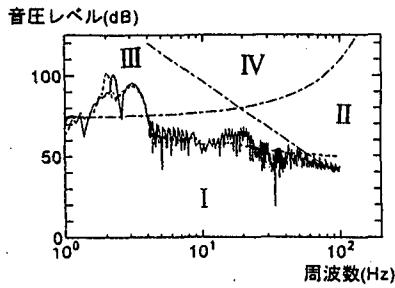
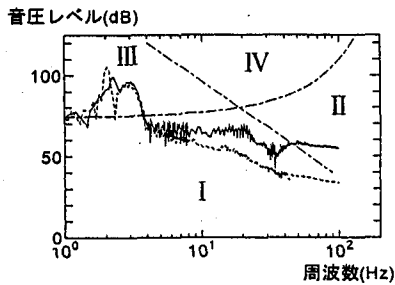


図-15 走行速度の違いが低周波音に及ぼす影響
車両重量: 25tonf
段差: 2cm
張出し長さ: 2.5m

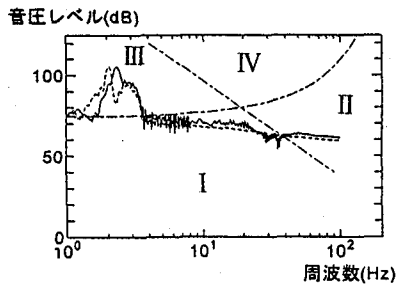
(— : 張出し桁、 ---- : 単純桁)



車両重量: 20ton, ばね定数: $2.75 \times 10^4 \text{ kg/cm}$



車両重量: 25ton, ばね定数: $3.25 \times 10^4 \text{ kg/cm}$

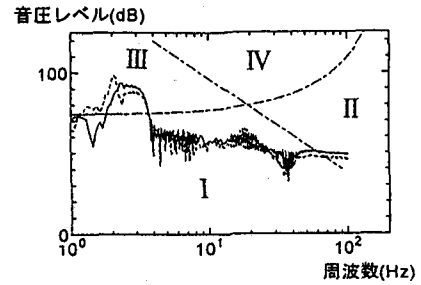


車両重量: 30ton, ばね定数: $3.75 \times 10^4 \text{ kg/cm}$

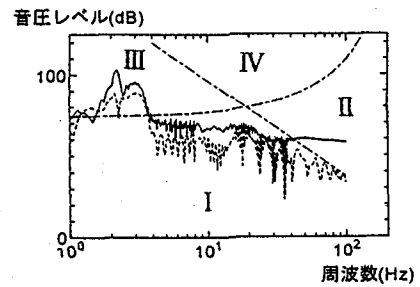
図-16 車両重量の違いが低周波音に及ぼす影響
走行速度: 100km/h, 段差: 2cm
(— : 張出し桁, - - - : 単純桁)

た結果を示している。これより、張出し桁橋を採用すると、1) 車両走行速度が80km/h、100km/hのときのピーク値は単純桁橋よりも約5～10dB低くなっているが、50Hz以上の音圧レベルは逆に最大で約20dB単純桁橋よりも高くなっていること、2) 車両走行速度が120km/hのときは、単純桁の音圧レベルより低く、ピーク値で約10dB低くなっており、50Hz以上の音圧レベルも低くなっていること等が読み取れる。

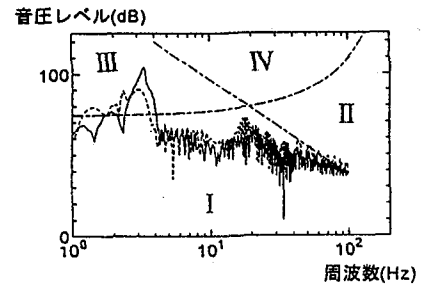
車両重量の違いが放射される低周波音に及ぼす影響を、張出し長さ2.5mの場合について調べた結果を示したのが図-16である。これより、張出し桁橋を採用すると、車両重量が25tonfのとき、領域(I)および領域(II)において音圧レベルが高くなるものの、領域(III)では、いずれの車両重量の場合も、張出し桁と単純桁の間に差がなく、車両重量の影響はさほど大きくないといえる。



支間長: 52m



支間長: 54m



支間長: 55m

図-17 桁端のばね剛性の違いが低周波音に及ぼす影響
走行速度: 100km/h, 段差: 2cm, 重量: 20tonf
(— : 3.25×10^6 , - - - : 3.25×10^5)

図-17は、張出し桁端部に設置するばねの剛性を変化させた場合に、放射される低周波音がどのように変化するのかについて検討した結果をプロットしたものである。なお、ここでは、張出し桁端部のばねの縮みを0.1mm、および、1mmとなるよう変化させている。図-17より、ばねの剛性を高くすると、張出し長さが1mの場合には領域(III)の音圧レベルが下がっているものの、張出し長さが2m、および、2.5mの場合は逆に音圧レベルが大きくなっていることがわかる。このことは、張出し桁端部に設置するばねの剛性を大きくすることは必ずしも得策ではないことを示唆している。

以上の結果をまとめると、今後さらに詳細な検討を行う必要はあるものの、張出し桁タイプの橋梁の採用は、段差がある場合、および、高速走行時の低周波騒音の低減に対して効果的である可能性が高いといえよう。

6. 結論

本研究では、中央自動車道に架かる鋼橋およびコンクリート橋から放射される低周波音を実測するとともに、これらの橋梁をモデル化して理論解析を行い、両者の結果を比較することによって、解析手法の妥当性を検証した。そして、主として理論解析結果に基づいて、車両走行時に鋼橋とコンクリート橋から放射される低周波音特性の違いについて検討した。さらに、鋼橋の防音対策という観点から、主桁を桁端部に鉛直ばねを取り付けた張出し桁タイプにすることを考え、単純支持桁との低周波音特性の比較を理論解析結果に基づいて行い、低周波音の低減効果が現れるかどうかを検討した。その結果をまとめると、以下ようになる。

- 1) 実測値では、伸縮装置部の段差量は不明であるが、鋼橋はコンクリート橋と比べてピーク時で約4 dB音圧レベルが高くなっている。
- 2) 鋼橋・コンクリート橋ともに橋梁からの距離が大きくなると音圧レベルは低下するが、特に、40Hz以下の低い周波数の音圧レベルの低下が著しい。
- 3) 理論解析と実測データを比較すると、鋼橋・コンクリート橋ともに橋梁からの距離が大きくなると高い周波数域での音圧レベルの差が大きくなるが、これは、理論解析では車両走行音を考慮していないためであり、本研究で用いた解析手法は概ね妥当である。
- 4) 橋梁から40m程離れると、スパン30m程度の橋梁に関しては低周波騒音の影響はほとんど感知されない。
- 5) 伸縮装置部の段差がなければ、鋼橋およびコンクリート橋から放射される低周波音のピーク時の音圧レベルには差がなく、低周波騒音として悪影響を及ぼさない領域にほぼ収まっている。
- 6) 伸縮装置部に段差が生じると鋼橋から放射される騒音はコンクリート橋から放射される騒音と比べてピーク時の音圧レベルが急激に上昇し、伸縮装置部の段差が2 cmあると約10 dB音圧レベルが高くなる。
- 7) 鋼橋・コンクリート橋とも、車両の走行速度が増大すると音圧レベルも上昇し、物理的な現象によって間接的に低周波音が感知される領域の低周波騒音が生じることが認められるが、車両重量の増加は必ずしも音圧レベルの増大に至らない。
- 8) 張出し桁タイプの橋梁の採用は、段差がある場合、および、高速走行時の低周波騒音の低減に対して効果的である可能性が高い。

謝辞：本研究の一部は、(社)鋼材倶楽部および(社)日本橋梁建設協会から研究助成を受けて実施したものである。また、日本道路公団甲府管理事務所からは、低周波音実測の許可、および、幾つかの橋梁の一般図・構造図等の御提供をいただいた。ここに記して、深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西脇仁一、森卓支：中央高速道路葛野川橋の超低周波騒音現象、日本音響学会論文集、1978年5月。
- 2) 北村豊、山田次男：低周波空気振動問題について、日本道路公団試験所報告(昭和51年度)、pp. 234-252、1977年12月；同(その2)、pp. 259-278、1978年12月。同(その3)、pp. 194-201、1979年12月。
- 3) 小川清、小野正二：橋梁振動に伴う低周波空気振動に関する試験研究、日本道路公団試験所報告(昭和50年度)、pp. 324-344、1976年12月。
- 4) 山家祥三：低周波空気振動に関する調査—音圧実態調査及び家屋に対する影響—、日本道路公団試験所報告(昭和51年度)、pp. 311-323、1977年12月。
- 5) 今市憲作、辻本良信、高橋伸、北川晃一：道路橋の振動に伴う放射音の理論解析、日本機学会論文集(C編)、46巻408号、pp. 904-912、1980年。
- 6) 大島俊之、能町純雄：走行車両により橋梁から放射される低周波空気振動の解析、日本音響学会誌、39巻1号、pp. -11-18、1983年。
- 7) 足立義男：橋梁の振動性状が低周波域の空気振動に及ぼす影響に関する研究、土木研究所報告、第164号—1、pp. 1-61、1984年。
- 8) 大島俊之、能町純雄他：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年4月。
- 9) 五郎丸英博、白石捷夫他：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、1989年3月。
- 10) 深沢泰晴、杉山俊幸他：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年3月。
- 11) 例えば、比江島慎二、藤野陽三：桁端ダンパーによる橋梁の交通振動の軽減、土木学会論文集、No. 465号、pp. 107-116、1993年3月。
- 12) 例えば、山田靖則、川谷充郎：桁端補強工法による橋梁交通振動軽減の解析的研究、構造工学論文集Vol. 43A、pp. 737-746、1997年3月。
- 13) 日経コンストラクション：特集 道路騒音を低減できる新技術、1997年12月12日号、pp. 44-83。
- 14) 水上、深沢、杉山：道路橋の低周波音特性に及ぼす段差と路面凹凸の影響、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集I-416、pp. 870-871、1991年3月。
- 15) 時田保夫：低周波音の計測と評価の問題点、文部省科学研究費環境科学シンポジウム、騒音振動の評価手法、pp. 147-161、1981年1月。
- 16) 山田伸志：超低周波音と低周波音、環境技術研究会、1984年7月。
- 17) 建設省土木研究所：橋梁の設計活荷重に関する試験調査報告書、土研資料第2258号、1985年12月。

(1998年9月18日受付)