

低周波空気振動の実態と問題点

建設省土木研究所 正員 足立義雄

正員 藤城泰行

1. まえがき

空気を媒質として、伝搬してゆく現象は、一般に音としてとらえられ、内耳により感受される。この時の感受特性に近いものとしては周波数レスポンスによるA特性と呼ばれるものがあり、騒音計ではこの機構が組み込まれている。しかし、これでは評価しえない低周波数の空気振動が、最近とりあげられるようになってきた。低周波空気振動が発生しているとの報告は、コンプレッサやディーゼル機関など主として工場、事業場からのものが多いが、道路橋からも発生しているという報告もある。¹⁾ 道路交通公害が社会問題として大きくとりあげられ、環境庁においても、環境影響評価に係る技術的事項として、低周波空気振動が環境項目のひとつに加えられており、実態の解明が急がれているものであるといえよう。

道路橋からの低周波空気振動は大型車が高速で、長スパントラス橋のような振動しやすい橋梁を通過するときに発生すると考えられているが、その実態は十分把握されておらず、橋梁からの発生機構、伝搬の状況、予測手法、さらに評価方法など検討すべき事項が数多く残されている。土木研究所においても、昭和53年度より発生機構、距離減衰に関する試験・調査を実施しているが、また端緒についたばかりである。ここでは、出来る限りわかりやすく、低周波空気振動とはどのようなものであり、どのような問題点があるかについて、土木研究所における試験・調査を中心として、それに既存の文献資料からの補足を加えとりまとめたものである。

2. 低周波空気振動の概要

(1) 低周波空気振動の特性

低周波空気振動の定義はいまだ国内では規定されていないが、1973年のパリにおけるInfrasoundに関するシンポジウムでは0.1～20 Hzの範囲とされている。²⁾ しかし、わが国で今まで計測された結果ではもっと高い100 Hz程度の範囲まで含めて観測結果が整理されている。人の純音に対する聴感曲線は現在ISOによって定められた図-1に示すものが、一般に採用されており、人の可聴範囲は個人差があるが、大略20 Hzから、20,000 Hzまでとされている。したがって、可聴範囲を含めて測定結果を整理することになる。最近、低周波空気振動を可聴域20 Hz以下を超低周波音(Infrasound)とし別に可聴範囲のものを低周波騒音(Low frequency noise)という便利な用語まで作られている。

低周波空気振動のレベルは通常オールパスの音圧レベルで表示されるため聴感曲線で補正された騒音レベルに比較してはるかに大きな値となっているので、単純に騒音レベルとは比較できない。

(2) 低周波空気振動の発生源

低周波空気振動は人には感知されにくい、あらゆるところから発生しているといわれている。しかし、苦情として地方自治体が報告しているものは、工場、事業場と航空機によるものが大部分であり、その他鉄

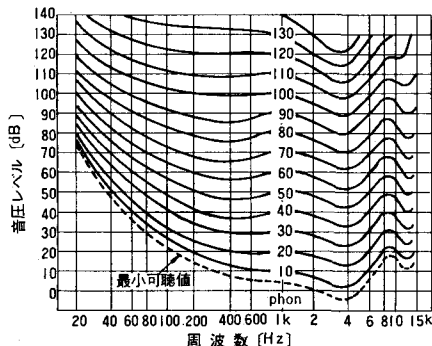


図-1 人間の耳の周波数応答

道、道路などに対するものが若干みうけられる。苦情を伴った発生施設としては、圧縮機、火力発電所、乾燥機、キューボラ、航空機、高架道路の橋、砂防用堰堤、集塵機、新幹線トンネル、真空ポンプ、振動コンベア、洗浄装置、ダム放流、ディーゼルエンジン、ディーゼル車、電気炉、破碎機、ボイラ、ロータリキルン、ルーツブロア、脱水機などが報告されている。このように低周波空気振動は広範な発生源から生じるだけでなく自然現象においても観測されている。例えば、海の波、地震波、風などに低い周波数の成分がある。

(3) 低周波空気振動の感知

低周波空気振動は広い範囲に存在しているが、これが表面化してくるきっかけは戸障子のゆれによる物理的な現象に結びついている場合が多い。調査例は少ないが、木製ガラス戸とアルミサッシの応答を実験したものに図-2のような結果がある。³⁾ 個々の建具の取付状態や振動の入射方向、建具の種類によってこの限界応答値は変化するが、単純に考えると低周波空気振動の周波数が、建具の共振周波数と合致し、かつある程度のレベル以上のエネルギーが伝えられたときに振動を始めることになる。

実態としての人体への影響についても明らかではないが、人体反応について曝露実験の例が発生されており、図-3に示すようである。⁴⁾ この例は低周波空気振動に対する検知の状況と生理的反応を調べたものであるが、それによると健全な人と敏感な人ではかなり大きな差を生じているようである。

これらの例は周波数バンドレベルでの実験であるため、通常低周波空気振動として表示されるオールパスレベルに対し、低い値で反応が出ており、オールパスレベルでの反応については、発生源毎の低周波空気振動の状況により、周波数帯も異なるので明らかでない。

(4) 低周波空気振動の実態

低周波空気振動の発生源は多岐にわたっており、われわれが日々生活を営んでいる場においてもいろいろな現象から低周波空気振動が生じているようであり、かなりの音圧レベルが測定される。これらの実態については十分把握されていないが、様々なところでの低周波空気振動を測定した結果が小見ら⁵⁾により報告されているので、このデータの一部に土木研究所において測定した結果を加え、図-4に示す。これらの結果は不特定の時刻における任意の場所におけるものであり、必ずしも個々の状態を代表する値とは限らないが、われわれの周囲においてかなり大きな音圧レベルが測定されているといえよう。

道路に関連する低周波空気振動への苦情としては、橋梁からのものがあげられているが、ここに示された橋梁からの低周波空気振動の音圧レベルは大型車の通過時のものであり、橋梁直下であっても必ずしも他の場所に比べて高くはない。苦情が生じているものはごく一部の橋梁に限られるものと考えられる。

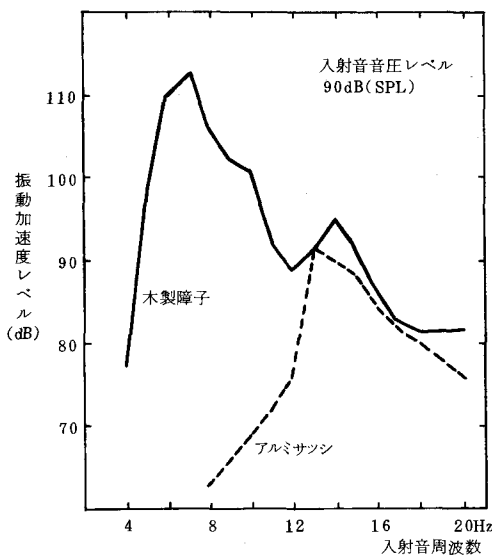


図-2 建具の応答

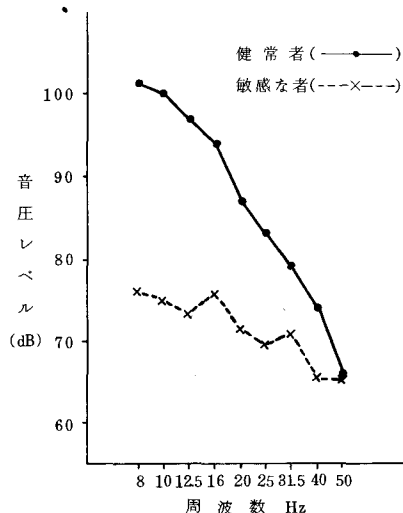


図-3 人体感覚による検知

3. 道路橋からの低周波空気振動の発生

道路橋からの低周波空気振動の発生メカニズムを解明するために、トラス橋において試験車走行試験を実施した。試験は未試用のトラス橋に車重、車速を変化させたダンプトラックを走行させ、強制加振させたときの車両振動、橋梁振動、低周波空気振動を測定し、それぞれの特性および相互の関係について分析したものである。

図-5 には一例として試験したトラス橋における橋梁振動波形と、床版直下1 m 点の低周波空気振動

波形を示す。これによると試験車がジョイント部を通過してトラス橋に入ったときに衝撃的な低周波空気振動の波形が橋梁振動とともに観測されているが、ジョイント部通過後減衰し、代って橋梁支間中走行時の振動が生じている。このようにトラス橋における低周波空気振動はジョイント通過時に発生する衝撃的なものと橋梁走行中に比較的定常的に続くものの2つに分けることができる。これらはいずれも橋梁振動とよく対応しており、図-6 に示す橋梁振動と、低周波空気振動との周波数分析結果をみても、明らかになる。ジョイント通過時の低周波空気振動は31.5 Hz の成分が卓越しているのに対し、橋梁を走行中のものは、31.5 Hz と非常に低い成分が卓越している。したがって、卓越した周波数

の成分からみて明らかに性状の異なるものであることがわかる。さらに、一連の試験による検討結果から橋梁の橋軸直角方向の固有振動数に相当する31.5 Hz の他に、レベル的には小さいが車両のばね下振動数に相当する10 Hz 付近においても卓越がみられ、車両振動と橋梁振動のレベルもよく対応していることがわかっていく。これからジョイント通過時の橋梁振動は車両のばね下振動により励起されたものが橋梁を伝搬していき、低周波空気振動を発生させていると考えられる。一方橋梁走行中には車両のばね上振動が影響しているようであった。

次に車両の走行状態による低周波空気振動の発生状況を見ると、図-7 に示すとおりである。道路橋からの低周波空気振動の発生は、大型車が高速で通行するとき発生するといわれているが、この結果によると、車両重量による影響ははっきりしていない。車速については、その増加に伴って音圧レベルが上昇する傾向にあるが著しく増大していくわけではない。また橋梁床版直下の低周波空気振動と橋梁振動との対応をみる

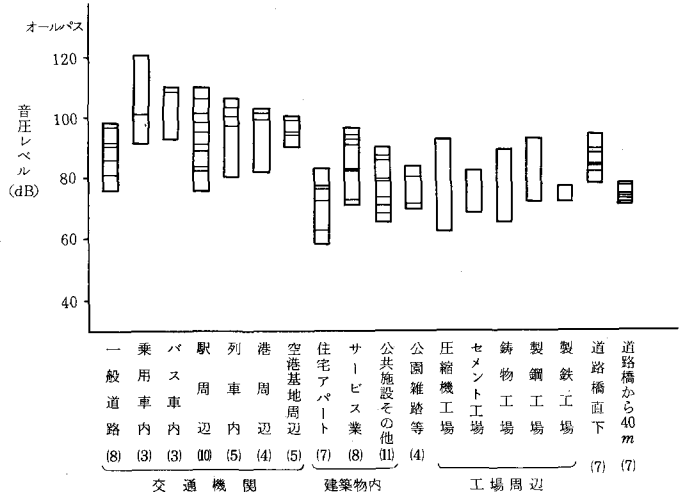


図-4 様々な場所における低周波空気振動の実態

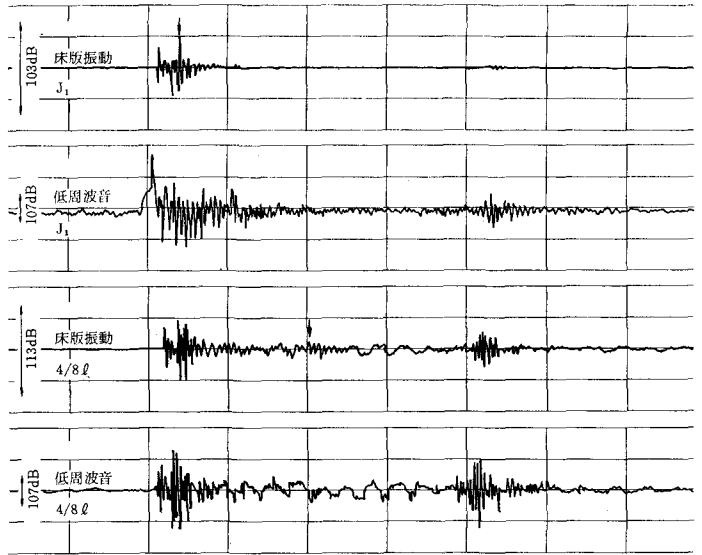


図-5 橋梁床版振動と低周波空気振動の波形の例

と卓越周波数が一致していると同時にそのレベルについても一定の相関がみられ、橋梁振動により低周波空気振動が発生していることがうかがえる。しかし、橋梁から離れた点の低周波空気振動は、橋梁全体から放射された空気振

動が地上での反射などにより、複雑に影響しているようであり、図-6により橋梁振動とは直接的に対応してこない。

4. 低周波空気振動の距離減衰

低周波空気振動はほとんど減衰せず遠くまで届くという説もあるが、その距離減衰の実態については明らかにされていない。そこで橋梁直角方向への距離減衰を測定してみた。その結果は図-8に示すとおりであり、 -6 dB/倍距離 減衰がみられ道路交通騒音よりもむしろ大きな減衰を示している。とくに卓越周波数成分における減衰が大きい傾向がある。

これは双極子音源による相殺効果ではないかと考えられるが今後の調査、検討により確認すべきものである。またこの測定は地形が比較的平坦な河川敷などで行われたものであるが、地形の複雑な場合には橋梁全体から発生した低周波空気振動が反射などによって影響を受け、ここで図示したよう

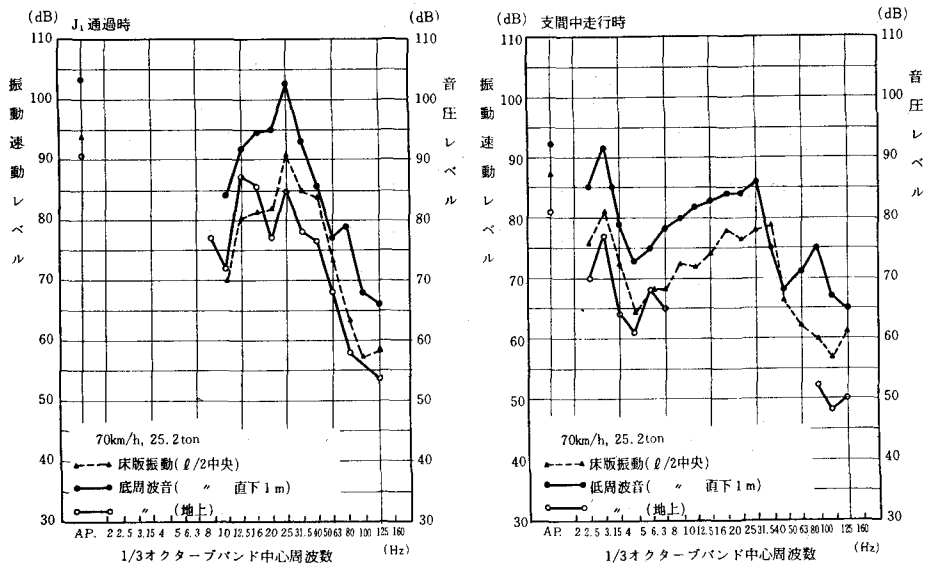


図-6 床版振動と低周波空気振動（床版直下1mと地上）の関係

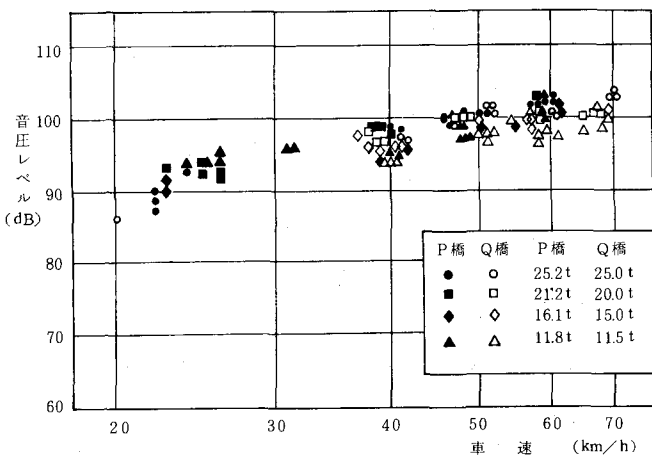


図-7 車両速度と音圧レベルとの関係

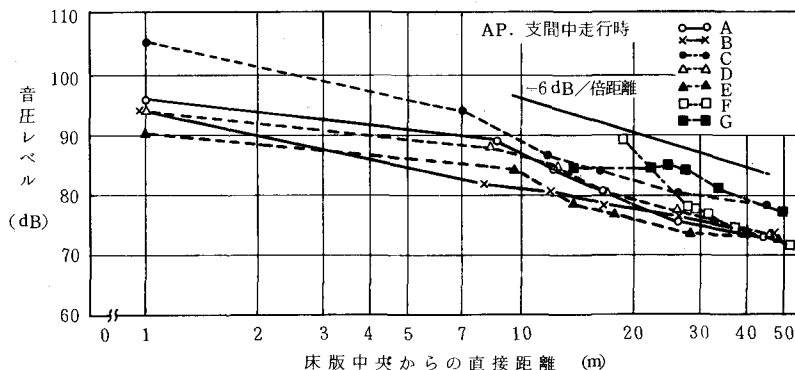


図-8 低周波空気振動の距離減衰

な単純な減衰傾向は示さないようである。

次に低周波空気振動の距離減衰を騒音のそれと比較した例として図-9を示す。この例では騒音は主として橋梁を走行中の自動車によるものであり発生源の位置が異っている。A橋の場合はC特性はジョイント音が主になっており低周波数の成分が強く低周波空気振動の減衰と似たものとなっているが、A特性は橋梁によりしゃ音されている自動車音が主であり異った減衰を示している。B橋の場合は、A、C特性とも自動車音が主であり、 $-3\text{dB}/\text{倍距離}$ の減衰となっており、低周波空気振動の減衰と比較して小さなものになっている。

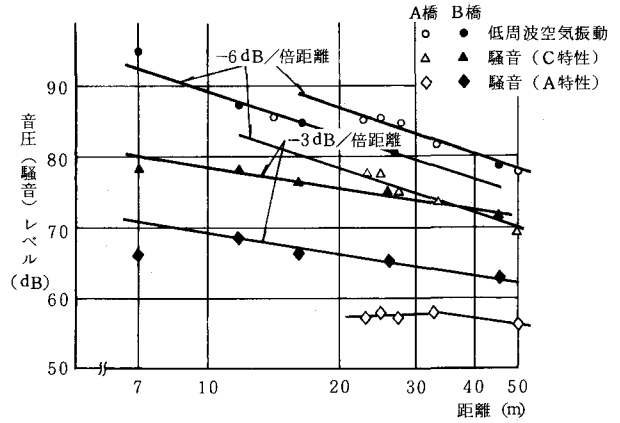


図-9 騒音と低周波空気振動の距離減衰の比較

5. 低周波空気振動に関する問題点

(1) 測定方法

低周波空気振動の測定は可聴域以下に限られていないが、その上限については定まったものがなく、振動レベル計を用いた場合は90 Hz まで測定可能であり、ここでは125 Hz までを測定している。50 Hz 以下を低周波空気振動の周波数範囲とする案⁶⁾もあるが一般的にはなっていない。しかし、どの範囲まで含まれるかによって、レベル的にも差が生じてくる。例えば、53 Hz 以下 ($1/3$ オクターブバンドの50 Hz) では84 dB であっても20.25 Hz ($1/3$ オクターブバンド20 Hz) 以下では70 dBとなる。一方低周波領域では、風の影響を除去するため2 Hz 以上とすることが実際のとされているがこれも定っていない。発生源の周波数特性により異なった範囲で測定されている場合もあるようである。騒音計のようにある周波数帯域でのトータル量で評価しうるようにするには今後定まった周波数帯域での測定結果が蓄積される必要がある。

測定位置に関する問題点として波長が長いことにより、周囲の地形や建物の影響が顕著になり、わずかな位置の違いにより音圧レベルが異ってくることも考えられる。また低周波領域では風による影響があり、測定できる時間が限られるというわずらわしさがある。

(2) 評価方法

低周波空気振動の評価方法には定まったものはなく、これを設定し、低周波空気振動をある周波数帯域におけるトータル量で評価するには、周波数帯域を定め、周波数応答、評価基準（あるいは閾値）を定める必要がある。低周波空気振動に対する人体感覚や、建物構造のガタツキについての実験は、すでに2-(3)に示したような結果も得られているが、当然両者の周波数応答は傾向が異っており両者を含めさらに騒音の聴感曲線とも斉合したものを設定するには今後の検討が必要とされる。また人体感覚についての実験において、低周波空気振動に敏感な人の閾値が非常に低いレベルにあることが報告されており、このような人の存在を考慮するにしても日常生活の場で常時存在するようなレベルすなわち騒音という暗騒音に相当するものが評価基準とされたのでは意味がないものとなり、評価基準の持つ意味が十分吟味されたうえで基準が設定されるべきものである。

(3) 予測方法

道路橋からの低周波空気振動の発生、伝搬機構についてある程度の調査が行われたが、これらの結果から低周波空気振動を予測するにはさらに問題点が残っている。低周波空気振動の発生に関しても、橋梁振動により低周波空気振動が発生することは明らかになっているが、橋梁振動そのものも走行車両の種類、走行条件

によって異っており、一方橋梁振動から空気振動へ転換する効率も明らかではなく、発生レベルを数量的に予測するにはさらに検討が必要である。伝搬機構についてみれば、平坦地においてはおよそ-6 dB/倍距離で減衰することが測定されたが、実際には、地形が複雑な場合での減衰も予測する必要があるが、反射などが複雑であり、今後の調査検討にまつところが多い。

(4) 対 策

低周波空気振動は波長が長く、現在用いられているようなしゃ音壁によるしゃ閉は困難である。従って対策としては、発生源に対する対策、あるいは受け手である建物に対する対策が考えられる。低周波空気振動は橋梁振動とともに発生するので、発生源対策は非常に難かしいが、道路橋における対策例としては、ジョイントからの発生が問題である場合には、取付部舗装の補修が考えられ、図-10に示すように端横桁を補強したこともある。⁷⁾ また建具に対するピンチブロックあるいは、建具の改良などは二次的騒音の防止には有効とされている。

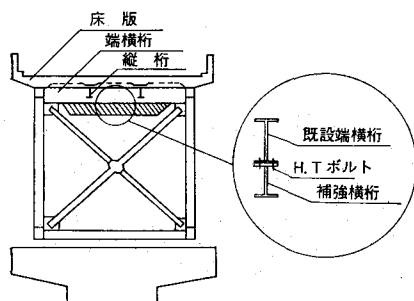


図-10 鋼トラス橋補強例

6. あとがき

土木研究所における調査結果を中心に低周波空気振動の実態と問題点について述べた。ここで示したように、低周波空気振動は広範囲に存在する現象であるが、その周波数範囲も確定しておらず、評価の方法も定っていない。そのため現在測定されているものが果して苦情の対象とされるようなレベルであるかどうか、あるいは道路橋からの低周波空気振動が、今後大きな問題となりうるのかどうか不明である。しかし例は少ないながらも苦情があったことは事実であるし、中央公害対策審議会の環境影響評価部会の答申「環境影響評価制度のあり方について」においても低周波空気振動の項目が加っており、検討を要する問題であることに変わりがない。低周波空気振動に関する研究事例は最近かなり多くなっているが、単に試験データを集めるだけでなく、解明されていない点について集中的に検討することを要しよう。とくに道路橋に関しては、そこからの低周波空気振動の発生。伝搬メカニズム、あるいは対策に関する研究も少なく、今後の研究にまつところが多い。

参考文献

- 1) 瀬戸口忠臣：低周波空気振動について環境庁の対応、騒音制御（昭54、2）
- 2) 豊田栄次：低周波空気振動公害の現状と今後の課題、公害と対策（'78、2）
- 3) 山下、金沢、小見：室の低周波音に対する建具の影響、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集（昭52、11）
- 4) 岡井治：低周波音の人体反応、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集（昭53、11）
- 5) 小見、落合、山下：日常生活における低周波音、日本音響学会研究発表会講演論文集（昭54、6）
- 6) 時田保夫：低周波音公害をめぐる、日本音響学会誌（昭54、7）
- 7) 斉木、毛戸：高速道路における低周波音の実態とその対策、公害と対策（'78、2）