

## 第7章

---

### 振動・騒音対策に関する 課題と今後の動向

## 第7章 振動・騒音対策に関する課題と今後の動向

振動・騒音対策に関する諸問題の解決に向けた本小委員会の活動を通じて得られた成果については、前章までに述べてきた。しかしながら、当初の目的を必ずしも十分に達成できた訳ではなく、今後、その解決を目指して検討していくべき課題もまだまだ残されている。本章では、こうした課題および今後の動向について、順不同で列挙することにする。なお、これらの課題については、2008年秋から活動を開始した「振動・騒音に配慮した鋼橋の使用性能評価に関する検討小委員会（小委員長：深田幸史金沢大学准教授，本小委員会幹事長）」に解決を委ねたいと考えている。

- 1) 今後の振動規制法改正に向けた提言（環境振動・騒音を評価していくためにはどのような計測をするのか、どのような物理量を用いて評価するのか）
  - A) 現行の官民境界評価から室内評価へ（建物の揺れに着目か？体感者が感じる揺れに着目か？）
  - B) L10 評価から Leq または Lmax 評価へ。また、評価尺度として dB 評価でよいのか、それとも、速度あるいは加速度等のような物理量として評価すべきか？
  - C) 鉛直方向評価に加え水平方向評価を加える。
  - D) 要請限度値や環境基準を早急に決める。
  - E) 路面の周期性を評価する路面管理基準が必要ではないか。
- 2) 「低周波音」，「低周波振動」，「低周波騒音」という用語定義の統一化に関する課題  
例えば、「低周波音問題対応の手引書（H16.9 環境省環境管理局大気生活環境室）」では、低周波数問題を、原則として 1/3 オクターブバンド中心周波数 1Hz～80Hz，と定義しているが、統一していく必要があると思われる。
- 3) 鋼桁橋に対して床版連結工法を合理的に適用するための課題
  - A) 連結前の状態で活荷重，死荷重などの鉛直荷重に対して安全性が確保されていることから，床版連結工法での連結床版の設計荷重を低減するなど，橋梁本体部材とは違った要求性能とすることも適用範囲の拡大のためには必要である。
  - B) 連結する橋同士の主桁中心線が一致しない場合や，幅員方向に対して部分的に床版を連結する場合など，連結床版の応力分布が複雑になることが想定されるが，その応力度を簡便に算出する方法を整理する必要がある。
  - C) 1 夜間など短期間での施工が可能な連結構造，施工方法の開発が必要である。
- 4) 各振動・騒音低減対策工法における効果の目安の設定に関する課題  
データが必ずしも十分ではなく，難しい課題ではあるが，これまでに蓄積されている諸々のデータを様々な角度から統一した観点で比較し，個々の振動・騒音低減対策工法の効果の目安を設定しておくことが望まれる。具体的には，
  - ① 振動・騒音に配慮すべき箇所(部位)の明確化
  - ② コストも含めた振動・騒音に配慮する事項（段差，伸縮装置，橋梁形式[桁の連続化，コンクリート橋への変更も含む]，特殊な装置[制振装置，免震ゴム支承]）と対策効果の明確化
  - ③ 現地条件による効果の違いなどの明確化などが挙げられる。
- 5) 振動・騒音の測定方法に関する課題
  - A) 昭和 50 年代では身体への圧迫感を与える 3～5Hz の低周波音が問題とされていたが，最近では建物のガタツキを引き起こす 5～20Hz の低周波音が問題とされてきており，着目点が変わってきていることにも留意する必要がある。
  - B) 苦情を出す人とそうでない人との最小可聴値の違いに着目した検討も今後さらに進めていく必要がある。
  - C) 聞こえる（感じる）音には年齢差があることから，測定時の体感調査にあたっては年齢の異なる被験者で行った方がよい。
  - D) 住民の中には，調査・測定というと過度に反応する場合がある。測定にあたっては，機器の稼動・測定結果・感覚の関係を明確にするとともに，実際の調査結果を住民らも示して，明らかにすることが重要である。

#### 6) 苦情に対する対処方法に関する課題

- A) 苦情解決には判断基準が必要であるが、現状では、法律で定められた水準、個人の受忍限度、人体の感じる閾値等の基準がある。苦情解決にあたって、どの判断基準を採用するかについては、現時点では定められていない。
- B) 苦情処理は、個々の案件によって状況が異なるため、どのような方向性で解決していくかは、お互いの理解の中で解決していく必要がある。
- C) 最近の苦情は低レベルの低周波騒音が主である。低周波音の主観的評価は、従来は純音に対する感覚評価であったが、今後は、発生源の移動状況と苦情者の被害感の対応の有無の判断、複合的な音と純音との違いの評価が重要になる。
- D) 苦情者が低周波音のみに反応しているかどうかは必ずしも明確ではない。苦情は、冬で気温が低いときが多い。また、住宅の築年数が大きくなると多くなる傾向にある。

#### 7) 数値解析結果と実測結果の整合性の検証に関する課題

橋の振動・騒音問題にコンピュータによる数値解析を適用することのメリットは、実験や実測をせずに振動・騒音対策が設計段階で検討でき、供用期間中に問題が生じてからあれこれと対策を講ずるよりもコスト的にも労力的にも得策と考えられることである。ただし、数値解析結果が妥当なものであるかの判断が容易でないのも事実である。現時点では実測結果と解析結果の整合性を確認した事例がかなり多くなってきていることから、これらを整理・分析し、解析の信頼度を確認してもよい段階にきているといえよう。

#### 8) 振動・騒音低減対策工法の設計段階からの積極的な適用に関する課題

性能照査型設計へと移行しつつある現時点において、新設橋に対して設計段階で振動や騒音問題を生じにくい構造とするためには、

- A) どのような項目を使用性という性能評価項目として抽出し、どのような指標を用いて評価・照査すればよいのかを明らかにすること
- B) 橋に生じる振動や、これに伴って放射される騒音が地域環境にどの程度の負荷を与えているのかを評価する手法（例えば、貨幣価値として算出する方法や効用値として算出する方法）の構築に向けた検討を行うこと

は重要である。

#### 9) 調査研究体制に関する課題

- A) 振動と騒音をリンクさせた検討が必要であるが、振動分野から騒音分野に研究範囲を拡張していく研究者は少ないが、その逆は比較的多い。
- B) 振動発生源→伝播経路→家屋振動→人間の感覚（振動・騒音）というルートを考えると、この分野は各学協会の「横の連携」が必要である。
- C) 評価尺度が計測機器の特性に依存していることを考慮すると、振動や音を機器の中でどのように処理しているのかを知る必要がある（計測機器の設計・製作に携わっているエキスパートの話を聴くのも大切）
- D) 発注者が、近隣住民からの苦情や批判を過剰に意識して振動・騒音に関する課題の公表を躊躇することが、この種の課題解決の大きな障壁となっている。今後、このような状況を改善できるような雰囲気作り、発注者側と受注者側が一体となって技術的観点から課題解決にアプローチしていこうという体制作りが最も重要ではないかと思われる。

# 「鋼橋の振動・騒音問題とその対策事例」に関する講習会

## プログラム

司会 金沢大学 深田宰史

13:00~13:10 開会挨拶

委員長 山梨大学 杉山俊幸

13:10~13:30 振動・騒音問題の概要

(株)フジエンジニアリング 薄井王尚

13:30~14:50 道路橋における振動・騒音対策の事例

- ・鋼桁橋における床版連結工法の適用 (大日本コンサルタント(株) 原田政彦)
- ・マルチプルマスダンパー (MMD) の橋梁への適用と解析 (オイレス工業(株) 横川英彰)
- ・橋梁のジョイントに着目した対策方法 (中日本高速道路(株) 酒井修平)
- ・道路高架橋から発生する構造音の低減・制振対策 (三井造船鉄構工事(株) 高田基樹)

14:50~15:00 休憩

司会 神戸大学 金哲佑

15:00~16:00 歩道橋・鉄道橋における振動・騒音対策の事例

- ・高欄設置用の薄型 TMD を用いた既設横断歩道橋の制振対策 (日立造船鉄構(株) 畑中章秀)
- ・鉄道高架橋における振動対策工とその評価 (東海旅客鉄道(株) 吉田幸司)
- ・開床式鋼鉄道橋から発生する構造物音の低減対策 (株)東京鐵骨橋梁 平山繁幸)

16:00~16:50 振動・騒音に対する評価法

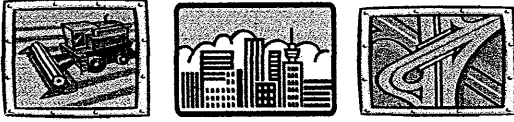
- ・振動に対する人体感覚の評価量に関して (埼玉大学 松本泰尚)
- ・振動・騒音問題に対する国内外の評価方法 (工学院大学 塩田正純)

16:50~17:00 閉会挨拶

幹事長 金沢大学 深田宰史

(社)土木学会 「鋼橋の振動・騒音問題とその対策事例に関する講習会」

## 振動・騒音問題に対する国内外の評価方法



平成20年11月

工学博士/技術士 塩田 正純  
工学院大学 工学部 建築学科 教授

## 目次

### 1. 海外の振動評価

- 1) 国際規格 (ISO 2631) について
- 2) 欧州各国の振動評価について
  - (1) イギリスの場合 (2) ドイツの場合 (3) スウェーデンの場合
  - (4) デンマークの場合 (5) ノルウェーの場合
  - (6) フランスの場合 (7) FTAの場合 (8) EC指令の場合

### 2. 日本の振動評価

### 3. 海外の騒音評価

- 1) 国際規格 (ISO 226) について
- 2) 欧州各国の騒音評価について

### 4. 日本の騒音評価

終わりに



## 1. 海外の振動評価について

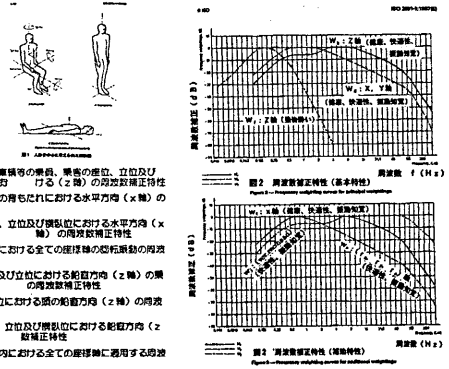
### 1)-1. ISO2631-1:1997の場合



本規格の特徴は、下記の通りである。

- ① Z軸(鉛直方向)で最も感覚的に敏感な周波数範囲が、4~12.5Hzとなった。
  - ② 評価項目が「健康、快適性、知覚、動揺」となった。
  - ③ 快適性および感覚閾値では、Z軸(鉛直方向)の4~12.5HzとX、Y軸(水平方向)の1~2Hzの間で感覚差が無くなった。(従来は、水平方向が鉛直方向よりも3dB感度が良かった。)
  - ④ 振動暴露限界の周波数特性の代わりに振動速度に対する周波数補正特性が与えられた。
  - ⑤ 人体の関節部位における回転運動が導入された。①から④について、図1、図2および表4に示した。
  - ⑥ 評価は、補正加速度実効値を用いて行う。ただし、クレストファクターが9以下、超える場合には、表5に示す方法で評価する。また、評価項目の適用指針が、下記のように示されている。
- ① 健康：注意領域として、4~8時間暴露は、約0.5~1.2 m/s<sup>2</sup> (約9.4~10.2 dB、鉛直方向)
  - ② 快適性：本指針値は、様々な因子によって左右されることから示されていない。また、住宅及び商業用建物における振動の快適又は不快の反応については、ISO 2631-2を参照する。
  - ③ 振動感覚：鉛直方向における補正加速度のピーク値0.0015 m/s<sup>2</sup> (約6.0 dB)

## ○ ISO2631-1/1997



- Wb 鉄道車両等の乗員、乗客の座位、立位及び(臥)位における(z軸)の加速度補正特性
- Wc 椅子の背もたれにおける水平方向(x軸)の加速度補正
- Wd 座位、立位及び傾位における水平方向(x軸)の乗揺れ運動の加速度補正特性
- We 座位における全ての座席軸の回転運動の加速度補正特性
- Wf 座位及び立位における鉛直方向(z軸)の乗揺れ運動の加速度補正特性
- Wg 傾位における傾の鉛直方向(z軸)の加速度補正特性
- Wk 座位、立位及び傾位における鉛直方向(z軸)の乗揺れ運動の加速度補正特性
- Wm 建物内における全ての座席軸に適用する回転加速度補正特性

### 1)-2. ISO2631-2/2003

本規格の背景は、建物における全身振動と衝撃に対する人体暴露に関して、居住者の「快適性と不快」のガイドライン的なものを示したものである。測定方法(測定方向及び測定位置)と評価について、詳細に示されている。特徴的には、居住者の姿勢が明確であれば、ISO2631-1を適用し、そうでなければ、周波数補正Wmを定義して、それを適用するとしている。本規格の特徴は、下記の通りである。

- ① 居住者の快適さと不快さに関して、建物における全身振動と衝撃の人体暴露を評価するものである。(健康、安全の影響評価には適用していない)
- ② 居住者の姿勢(方向)が明確であれば、ISO 2631-1を適用。
- ③ 住宅構造物の破壊などに関して規定していない。
- ④ 周波数補正は、ISO 2631-1と同様である。
- ⑤ 周波数補正Wm (1~80Hz)は、図3及び表6で示したものを適用する。
- ⑥ 周波数補正Wmは、数学的に定義されている。
- ⑦ 非公式に、建物振動の人体応答に関するデータ収集のためのガイドラインを紹介。

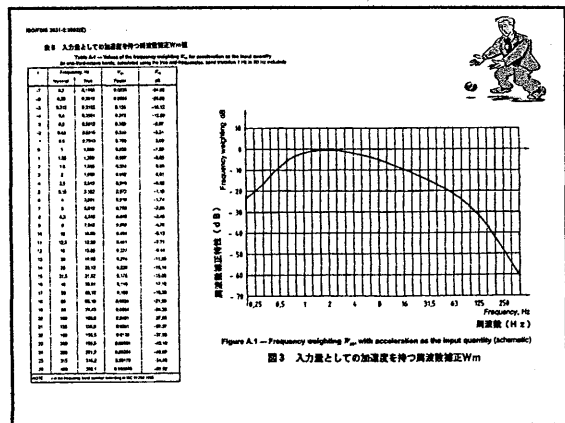


Figure A.1 — Frequency weighting  $P_w$  with acceleration on the input stability (stochastic)

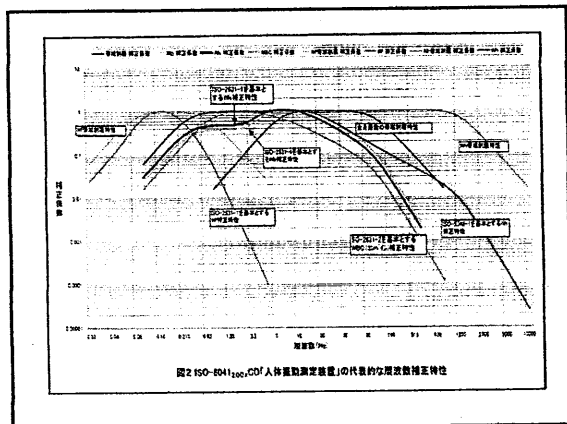


図2 ISO-2631,100,CD「人体振動測定装置」の代表的な規格特性

表1 欧州各国の規格・指針名称

略称	正式名	協会	国家規格
1 AFNOR	Association Francaise de Nomalisation	フランス規格協会	NF
2 BSI	British Standards Institution	英国規格協会	BS
3 DIN	Deutsches Institut fur Normung	ドイツ規格協会	DN
4 DS	Dansk Standard	デンマーク規格協会	DS
5 SIS	Swedish Standards Institute	スウェーデン規格協会	SS
6 NEN	Nederlands Normalisatie-Instituut	オランダ規格協会	NNI
7 NSI	Norges Standards Instituut	ノルウェー規格協会	NS
8 AENOR	Asociacion Espanola de Normalizacion Certification	スペイン規格協会	UNE
9 VDI	Verein Deutscher Ingenieure	ドイツ技術者連合	

表2 各国の全身振動の規格・指針の比較

年	国名	番号	概要	備考
1987	イギリス	BS6841	機械的振動及び繰り返し衝撃における人体の全身振動曝露の測定と評価に関する英国標準ガイド	
1990	イギリス	BS7385-1	建物振動に対する評価と測定: その1 建物振動の評価及び振動測定の手続き	
1992	イギリス	BS6472	建物振動 (1 Hz ~ 80 Hz) による人体暴露の評価に対するガイド。また、組合乗船が導入されていない。改訂版の普及が明かなので近年のISO 2631-1との互換が見られる	ISO 2631-2 / 1999 と同様に建物における評価、影響によって発生する振動
1993	イギリス	BS7385-2	建物振動に対する評価と測定: その2 地震振動からの曝露レベルに対するガイド	ISO 4338 / 1977 と同様に
1997	デンマーク		交通騒音、振動に関する健康アセスメントのガイドライン No. 9 / 1997 ISO/DIS 2631-2 が参照	1993年に改訂版のアセスメントのガイドラインとして公開
1997	スウェーデン	SS4604861	振動の診断基準: 建物における快適環境のための測定とガイドライン ISO/DIS 2631-2 が参照	評価単位: 振動速度 (mm/s) 基準: 5 mm/s

2002	ドイツ	VDI 2057-1	人体の全身振動におけるアセスメントのための統一手法及びその詳細: 健康、快適性及び振動曝露 ISO 2631-1 / 1997 が参照	VDI 2057: 1993年4月発行
1990	ノルウェー	NS6176E	建物振動の測定方法及び住宅での全身振動と評価 ISO 2631-1 / 1985, -2 / 1994 が参照	測定基準: ISO 4888 / 1990 のタイプ2
2002	フランス		建物振動による人体のフィジクスに対する尺度を定義し、健康や快適性を評価し、必要性の評価をする方法を規定	1986年から建物振動に対する方法を規定
2002	欧州連合	EC-Directive	振動から発生する有害影響に対するリスクに際して、最小限の曝露及び安全要求	1989年9月1日/EC
1994	ISO	Amendment 2-4888	建物振動-建物への影響評価と振動測定ガイドライン	BS 7385-1 が参照
2001	ISO	ISO 2631-4	全身振動の評価-固定設備輸送システムの乗客および乗務員の快適さにおける振動と回転運動の影響評価のためのガイドライン	
1997	ISO	ISO 2631-1	全身振動の評価-基本的要求	1985年の改訂版
2002	ISO	ISO/CD 8041	振動に対する人体規定-測定単位	
2003	ISO	ISO 2631-2	機械振動と衝撃-全身振動に対する人体暴露の評価-その2 建物における振動 (1 Hz ~ 80 Hz)	従来の方向が評価された。ISO 2631-1を参照

表 どの用語が強制力をもっているのか

用語	意味*	日本語
act		法律、条約
assessment		影響評価
criteria	環境の質と環境の量が、個人や集団に及ぼす影響についての定性的・定量的情報の総称	判断基準
directive		指令、命令
estimation		評価、判断、意見
evaluation		評価
guide	望ましい環境の推奨目標	指針
guideline	推奨値を表現するための技術的な値	指針値
law		法律、法規、法令
legislation		法律
order	推奨値: 指針に安全限値を付けたもの	推奨、勧告
recommendation		推奨、勧告
regulation	規制基準: 行政的な規制、指導のためのものさし	規則、規定、法規
requirement	規制基準: 行政上の望ましい基準	必要要件
rule		規則、規約、命令
standard	基準: 基本となる物差し	基準、標準、規格

(注) \* 長田 泰公: 「騒音の環境基準を考ふる一クライテリアからスタンダードへ」 (社) 日本音響学会講演論文集 1993年

Which law terms have the enforcement?

English terms	イギリス	オランダ	フランス	ドイツ	イタリア	ノルウェー	スウェーデン	デンマーク	ドイツ
act									
assessment									
criteria									
directive									
estimation									
evaluation									
guide									
guideline									
law/byelaw									
legislation									
order									
recommendation									
regulation									
requirement									
rule									
standard									

Legend:  
 O: exist for penalty  
 - : don't exist for penalty  
 Δ: don't exist for penalty, but administrative enforcement exists.

### 1) イギリスの場合

本規格には、BSI (英国標準機構) として、BSを発行している。環境振動に関する規格/基準等には、下記のようなものがある。

- ① BS6841-1987: 機械的振動及び繰り返し産物における人体の全身振動暴露の測定と評価に対する英国標準ガイド
- ② BS7385: パート1: 1990/ISO4866: 1999: 建物振動に対する評価と測定: パート1, 建物振動の影響評価及び振動測定のためのガイド
- ③ BS6472: 1992: 建物振動 (1Hz~80Hz) の人体暴露の評価に対するガイド
- ④ BS7385: パート2: 1993: 建物振動に対する評価と測定: パート2, 地盤振動からの障害レベルに対するガイド



ここでは、BS6841, BS7385について紹介する。但し、その後のBSの変更/改訂について、情報を把握していない。

表8 構造物表面の障害に対する一時的な振動の指針値

Line (see Note 2)	Type of building	Peak component particle velocity in frequency range of 4 Hz to 15 Hz	15 Hz and above
1	Reinforced or framed structures industrial and heavy commercial buildings	60 mm/s at 4 Hz and above	
2	Unreinforced or light framed structures Residential or light commercial type buildings	15 mm/s at 4 Hz increasing to 20 mm/s at 15 Hz	20 mm/s at 15 Hz increasing to 50 mm/s at 40 Hz and above

NOTE 1. Values referred to are at the base of the building (see 6.3).  
NOTE 2. For line 2, at frequencies below 4 Hz, a maximum displacement of 0.8 mm (zero to peak) should not be exceeded.

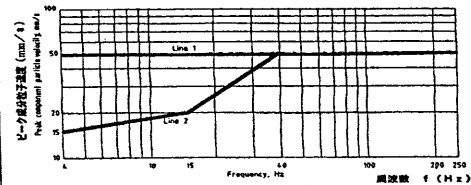


Figure 1. Transient vibration guide values for cosmetic damage

図8 構造物表面の障害に対する一時的な振動の指針値

### 2) ドイツの場合

ガイドラインVDI2057は、1963年に発行されてから、ISO2631 (1987年、1974年そして1977年)の議論を踏まえて、2002年に発行された。ガイドラインVDI2057-1-2002の内容は、ほぼISO2631-1:1997にリンクしている。振動暴露の特性は、下記の通りである。

- 1) 連続的な振動暴露は、道路交通振動の場合、ある位置で、周波数補正加速度  $a_w(t)$  によって、特徴づけられている。連続の範囲は、周波数補正加速度  $a_w(t)$  の時間に対する動作から見る事ができる。
- 2) 継続時間Tの特殊な時間を通じて発生する振動暴露は、周波数補正加速度  $a_w(t)$  のエネルギー等価平均値  $a_{eq}$  (周波数補正加速度の実効値) によって、特徴づけられている。
- 3) 「毎日の暴露感覚」において、1日の振動暴露は、振動加速度  $a_w$  によって、影響評価している。それは、特定の影響評価される継続時間T<sub>eq</sub>に対して計算される。

現在のガイドラインの目的は、人体の全身振動における影響評価のための統一した手法を用意することであり、かつ影響評価数値を決定するための一般的な知識を与えることである。

- 周波数範囲は、健康、快適性および振動知覚の損傷に対して: 0.5Hz~80Hz / 機械的な損傷に対して: 0.1Hz~0.5Hz
- 振動の方向は、ISO2631-1:1997と一致

Table 1. Application of frequency weighting curves 表9 周波数補正曲線の適用

Body posture	Measuring point	Direction of vibration	Frequency weighting
Sitting	at the seat	A,F	W <sub>b</sub>
Standing	at the feet	A,F	W <sub>b</sub>
Standing	at the feet	A,F,F	W <sub>b</sub>

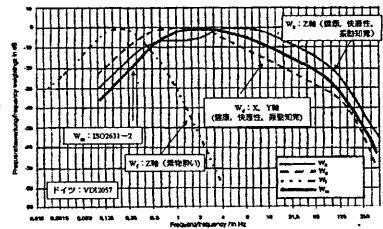


Fig. 2. The most important frequency weighting curves for the body (see Table 2)

図9 最も重要な周波数補正曲線

### 3) スウェーデンの場合

スウェーデンには、スウェーデン規格SS460 48 61「振動の判断基準: 建物における快適評価のための測定とガイドライン」があり、下記の適用範囲がある。

- 1) 周波数範囲: 1 ~ 80 Hz
- 2) 評価: 補正振動速度振幅 (mm/s)  
基準値: 5nm/s, 1n=10<sup>-9</sup>
- 3) 根拠: ISO2631-2
- 4) ガイドライン: 表10 及び 図10
- 5) 建物における振動速度に対する感覚  
閾値は、ほぼ、0.1mm/sである。

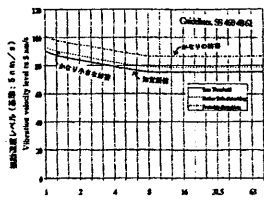


図10 建物における快適評価のためのガイドライン (SS460 48 61)

表10 建物における快適評価のためのガイドライン

動量の量	振動速度 (mm/s): 実効値の最大値
非常に少ない	0.4~1.0
発生する可能性あり	>1.0

### 参考: ISO1683-1983/基準値

Acoustics - Preferred reference quantities for acoustic level

量の種類	対応英語	基準値	算出式	単位
音圧レベル (空気中)	Sound Pressure Level	20 μ (Pa)	20log(P/P <sub>0</sub> )	dB
音圧レベル (空気中以外)	Sound Pressure Level	1 μ (Pa)	20log(P/P <sub>0</sub> )	dB
音の強さのレベル	Sound Intensity Level	1 p (w/m <sup>2</sup> )	10log(I/I <sub>0</sub> )	dB
振動加速度レベル	Vibratory Acceleration Level	10 <sup>-6</sup> (m/s <sup>2</sup> )	20log(A/A <sub>0</sub> )	dB
振動速度レベル	Vibratory Velocity Level	1 n (m/s)	20log(V/V <sub>0</sub> )	dB
振動力レベル	Vibratory Force Level	1 μ (N)	20log(F/F <sub>0</sub> )	dB
音響パワーレベル	Sound Power Level	1 p (W)	10log(W/W <sub>0</sub> )	dB
音響エネルギー密度レベル	Sound Energy Density Level	1 p (J/m <sup>3</sup> )	10log(E <sub>D</sub> /E <sub>D0</sub> )	dB
音響エネルギーレベル	Sound Energy Level	1 p (J)	10log(E/E <sub>0</sub> )	dB

注) 1 μ = 10<sup>-6</sup>, 1 n = 10<sup>-9</sup>, 1 p = 10<sup>-12</sup>

決議 2: 量、単位、記号... ISO/TC12/CD8000-8 (ベルリン会議)

【量と単位 - 第8部: 音響学】の改訂

< field quantity F の定規 >

$$L_F = 10 \lg [F^2/F_0^2] \text{ dB}$$

#### 4) デンマークの場合

デンマークでは、環境における低周波騒音、超低周波騒音及び振動に関する測定とアセスメントのための一連のガイドラインが、1997年に、「デンマーク環境保護省No.9/1997からのお知らせ」として好評された。環境振動アセスメントのためのガイドラインが1983年にデンマークで好評された。下記のような適用範囲がある。

- 1) 規格 : ISO/2631-2
- 2) 評価 : 補正加速度レベル (dB)、振動加速度振幅 (mm/s<sup>2</sup>) 補正振動速度振幅 (mm/s)
- 3) 測定法 : slow
- 4) 基準値 : 10<sup>-4</sup> (m/s<sup>2</sup>)
- 5) 聴覚評価における推奨限界値 : 72 dB (re.10<sup>-4</sup>m/s<sup>2</sup>) あるいは、4 (mm/s<sup>2</sup>)
- 6) ガイドライン : 表11

表11 推奨振動限界値

	補正加速度レベル Law (dB)	振動加速度振幅 a <sub>ms</sub> (mm/s <sup>2</sup> )	補正振動速度振幅 V <sub>ms</sub> (mm/s)
住宅地域の住宅(昼と夜)あるいは商業地域(昼と夜)公共施設	75	5.6	0.16
住宅地域における住宅(昼)、事務所、学校公共施設	80	10	0.3
事業所におけるその他の構築物	85	17.8	0.5

#### 5) ノルウェーの場合

この標準は、地上交通(道路交通および多線の路面電車)によって発生する建物の振動を測定する方法を具体化すると共に住宅における全身振動を評価するための判断基準をも規定する。NS-ISO2631-1/1985及びISO2631-2/1994に従って、振動評価のための一般的な判断基準の拡張と適用を行うことである。これは、建物に関連する振動源や土木作業、工場および発電などからの振動には適用しないが、建物用地間や土木作業用地間の交通には適用する。また、振動による建築物や構築物の障害評価には適用しない。この基準の付録では、住宅において人体が影響を受けりうる振動についてもガイドラインとして準備している。本基準は、下記のような構成になっている。

- 1) まえがき 2) はじめに 3) 背景 4) 正式な基準 5) 定義 6) 測定原則
- 7) 測定機器に対する要求 8) 測定手順 9) 測定結果 10) 測定の不確かさ
- 11) 測定報告 12) 付録A, B, C, D, E, F (非公式)

この中から、7)、9) および12) について、下記に示す。\* 7) について:

- ① 周波数範囲・・・1Hz~80Hz, 1/3オクターブバンド
- ② 測定機器・・・ISO4081:1990のtype2と一致
- ③ 測定法・・・1秒(IEC60651:1979のslowと一致)
- ④ フィルター・・・結合補正曲線(振動速度 \* 振動加速度)のファクター

\* 12) について : 付録Bのみを記載

- ① 住宅における異なる大きさの度合いと補正された振動の関係に関する

振動等級 : 振動等級のガイドライン 表12

表12

補正速度V <sub>ms</sub> あるいは補正加速度a <sub>ms</sub> の統計的最大値に対する上級限界を持つ住宅の相対等級	等級A	等級B	等級C	等級D
補正速度(V <sub>ms</sub> mm/s)の統計的最大値	0.1	0.15	0.3	0.6
補正加速度(a <sub>ms</sub> mm/s <sup>2</sup> )の統計的最大値	3.6	5.4	11	21

- 1) 等級A: 非常に良い振動条件に一致。ここでは、人々は、例外として振動だけを知覚するでしょう
- 2) 等級B: 比較的良好な振動条件に一致 (注) 等級Bの住宅に住む人達はある程度の振動によってじゃまされるかもしれないと認めている。
- 3) 等級C: 新しい住宅建築物、新しい交通基盤の計画や構築物と関連した振動に対する要求限界値に一致 (注) 等級Cの住宅に住む人々の約15%が、振動によってじゃまされるかもしれないと認めている。
- 4) 等級D: 住宅建築物に存在してもたらされるかもしれない振動条件に一致 (注) 約25%の人々が等級Dの住宅における振動によってじゃまされるかもしれないと認めている。計画は、等級Cの要求を満たすようにすべきであるが、費用対効果の検討が等級Cを要求する不合理である場合等級Dを利用することができる。

#### 6) フランスの場合

フランス環境省は、1986年から、振動に対する建物の保護に関する法規を構築してきた。法規は、2つの部分から成り、一つは、専門的な分析に関するもので、2つ目は制御に関するものである。図8(衝撃振動の場合)および図9(連続振動の場合)は、振動制御のために適用する限界値に関するものである。各カテゴリーの建物に対し、周波数範囲を考慮した限界値の単位は、mm/s<sup>2</sup>で示される。

主目的は、建物内の振動によって発生する「うるささ (annoyance)」に対する尺度を定義し、法規や制御方法を策定し、人からの苦情を評価することにある。「うるささ指示計 (annoyance indicator)」は、下記のように定義できる。

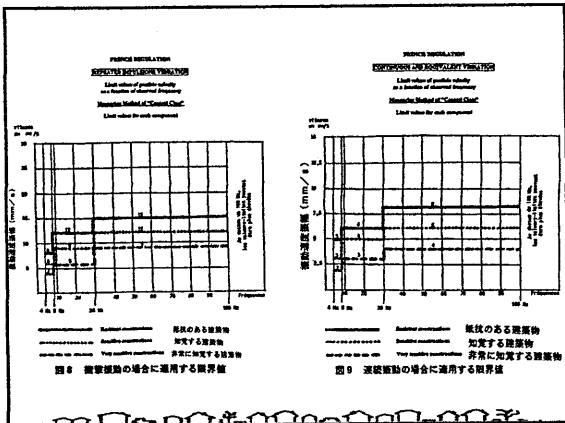
$$I = A(v) \cdot B(f) \cdot C(v) \cdot D(d) + E(b) + F(p) + G(m)$$

ここで、I: 尺度 (無次元)、(v): 振動速度振幅 (mm/s)、(f): 支配的な周波数

(d): 作業時間、(d): 振動源の地盤特性

構築するパラメーター: (b): 空室、(p): 窓枠伝達、(m): 家具類の苦情

建物内の人間に影響し、苦情の原因となるような全てのパラメーターを考慮した尺度を定義している。



#### 7) FTA(米国連邦輸送局)の場合

表8 うるささ (VdB) に対する地盤伝達振動の影響評価基準 : FTA

区分	地盤伝達振動の影響評価レベル (1 μin/s <sup>2</sup> /秒に比例したVdB)		
	頻りに発生 <sup>1</sup>	一時的な発生 <sup>2</sup>	まれに発生 <sup>3</sup>
1	65	65	65
2	72	75	80
3	75	78	83

- ① 頻りに発生するとは、1日あたり70回以上の振動発生として定義されている。
- ② 一時的な発生とは、1日あたり30回から70回の振動発生として定義されている。
- ③ まれに発生するとは、1日あたり30回以下の振動発生として定義されている。

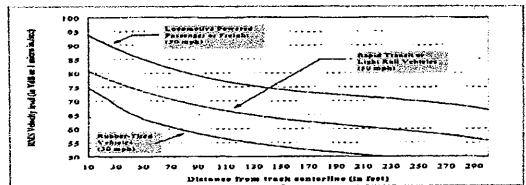


Figure 4: FTA Generalized Ground Surface Vibration Curves  
図4 一般化された地盤伝達振動曲線 (FTA)



### 8) EC指令について

2002年6月25日付けで、欧州議会および審議会の指令2002/44/ECが発令された。物理的震動（振動）から発生するリスクに対する作業者の暴露に関して、最小限の健康および安全要求が示された。（指令89/391/EECの項目18(1)の意味に関する16の個別指令）この指令の要求は、作業者が、作業を通じて、機械的な振動からリスクを暴露されたり、暴露されるかもしれない活動に対して適用される。項目2の定義の中で、全身振動：機械的な振動が、全身振動に伝達される際、特に、拜金のショックや荷役において、作業者の健康と安全に対するリスクを伴っている項目3の暴露限界値と行動値のなかに於ける全身振動に対して、下記のように示されている。

- (1) 8時間基準に対して標準化された1日の暴露限界値が、 $1.15 \text{ m/s}^2$  関係している会員国の選択で、振動暴露値  $2.1 \text{ m/s}^{1.75}$  とすべきである。
- (2) 8時間基準に対して標準化された1日の暴露限界値が、 $0.5 \text{ m/s}^2$  関係している会員国の選択で、振動暴露値  $0.9 \text{ m/s}^{1.75}$  とすべきである。

### 2. 日本の振動評価について

振動規制法は、昭和51年12月に施行され、平成6年、平成7年に若干の改正がなされ、今日に至っている。本規制法での対象は、工場・事業場、建設作業および道路交通となっている。新幹線に関しては、「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について（勧告）」となっている。在来線、住宅内の振動/固体伝搬音に関しては対象になっていない。表は、振動規制法に係る評価を示したものである。

対象振動	評価値 (dB)
工場・事業場	時間変動特性に応じて異なる： $L_{10}$ 、 $L_{MAX}$ 、 $L_{MAX}$ の平均
建設作業	時間変動特性に応じて異なる： $L_{10}$ 、 $L_{MAX}$ 、 $L_{MAX}$ の平均
道路交通	$L_{10}$
新幹線	$L_p$

本規制法では、科学的知見に基づいて、鉛直方向のみを対象とした。その根拠は、一般の地盤表面では、鉛直方向の振動の方が水平方向の振動よりも大きいものが多い。また、周波数帯域においても人体の全身では、鉛直方向の振動をより強く感じるとされていたためである。

JIS C 1510とISO2631-1/1997との違いが表のように明らかになった。特に、周波数補正曲線は、以下のようになっている。

- 1) JISC1510：鉛直方向（足一頭）、水平方向（背一胸、右側一左側）
- 2) ISO2631-1：鉛直方向（座位、立位、仰臥位）、鉛直方向（頭部）

水平方向（座位、立位、仰臥位）、鉛直方向（座位、立位：乗物酔い）、水平方向（背もたれ）、回転振動（座位）

項目	JIS C1510/1995	ISO2631-1/1997
単位	dB	$\text{m/s}^2$
周波数補正曲線 (鉛直方向)平均特性	4~8 (Hz)	4~12.5 (Hz)
周波数補正曲線 (水平方向)相対値	1~2 (Hz) 基準3dB	1~2 (Hz) 基準0
周波数補正曲線	2曲線	6曲線
構成基準周波数	未規定	8Hz
周波数許容誤差	1~8 0Hz, +2, -5dB	1~8 0Hz, ±1dB
対象周波数範囲外の規定	未規定	フィルター特性と許容誤差(±2dB)規定

表 振動規制法による評価値

対象	評価値 (dB)
工場・事業場	時間変動特性に応じて異なる： $L_{10}$ 、 $L_{MAX}$ 、 $L_{MAX}$ の平均
建設作業	時間変動特性に応じて異なる： $L_{10}$ 、 $L_{MAX}$ 、 $L_{MAX}$ の平均
道路交通	$L_{10}$ (80%レンジの上端値)
新幹線	$L_p$ (最大値)

表 ISO2631とJIS C 1510の相違点

項目	ISO 2631-1/1997	JIS C 1510/1995
単位	$\text{m/s}^2$	dB
周波数補正曲線 平均特性	鉛直方向 4~12.5 Hz	4~8 Hz
周波数補正曲線 相対値	水平方向 1~2 Hz 基準 0	1~2 Hz 基準 3 dB
周波数補正曲線	6曲線	2曲線
校正基準周波数	8 Hz	未規定
周波数許容誤差	1~8 0Hz ± 1 dB	1~8 0Hz ± 2, -5 dB
対象周波数範囲外の規定	フィルター特性と許容誤差(±2 dB)規定	未規定

### 3. 海外の騒音評価について

表2 騒音関係の国際規格の例

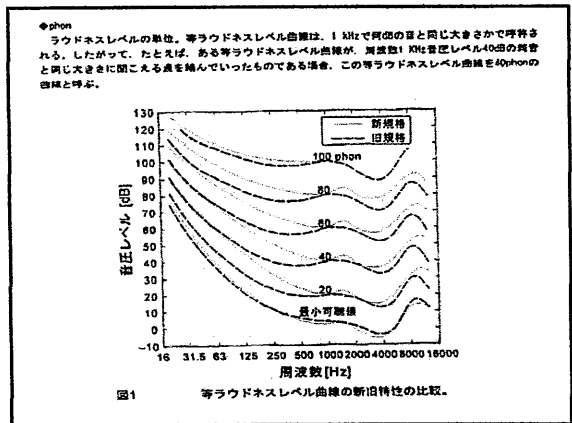
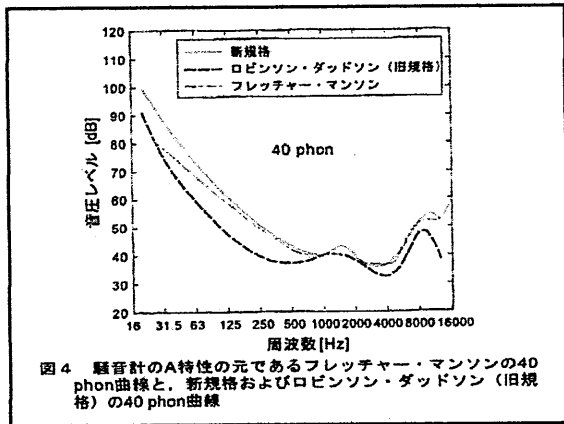
項目	規格名称	概要	日本工業規格との対応
測定	ISO228-1:1997	音響-音圧レベル測定	
	ISO228-2:2003	音響-音圧レベル測定	
	ISO228-3:2003	音響-音圧レベル測定	
	ISO228-4:2003	音響-音圧レベル測定	
評価基準	ISO11201-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	JIS2277-1
	ISO11202-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	JIS2277-2
	ISO11203-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	
	ISO11204-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	
騒音評価	ISO228-1:1997	音響-音圧レベル測定	JIS2277-1
	ISO228-2:2003	音響-音圧レベル測定	JIS2277-2
	ISO228-3:2003	音響-音圧レベル測定	
	ISO228-4:2003	音響-音圧レベル測定	
騒音規制	ISO11201-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	JIS2277-1
	ISO11202-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	JIS2277-2
	ISO11203-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	
	ISO11204-1:1995	音響-騒音-騒音による放射される騒音	
騒音規制	ISO228-1:1997	音響-音圧レベル測定	JIS2277-1
	ISO228-2:2003	音響-音圧レベル測定	JIS2277-2
	ISO228-3:2003	音響-音圧レベル測定	
	ISO228-4:2003	音響-音圧レベル測定	

注) 本表は、参考文献(2)の中から代表的な項目を引用し、追加したものである。

表 ISO226 等ラウドネス曲線の経年比較

年代	概要	備考
1933年	フレッチャー・マンソンの等ラウドネス曲線 1) 最小可聴値 2) 音の大きさのレベル100dBS 3) 音の大きさのレベルが小さくなるにつれて、低周波領域での音圧レベルが小さくなり、かつ音の大きさのレベルによる音圧レベルの差が小さくなる傾向を示している。	ベル研究所
1955年	ロビンソン・ダルトンの等ラウドネス曲線 1) 人間のデータのみに依存	英国文物物研究所
1961年	種別規格ISO/R226-1961	
1965年	ドイツの研究員 H. Fastl, G. Zwicker 1) 14(Hz)以下の周波数領域は大きな誤差が認められている可能性を示している。	ISO/R226-1965(2003)で新規格の制定作業を開始
1987年	国際規格 ISO226-1987	
2003年	国際共同研究グループ(IGAC): 1) 測定参加者: 国々 1000名 2) 実験中の「音の大きさ」の判断回数(聴取回数): 約200万回 3) 実験施設: 大規模な(2)産業技術研究所 4) 中レベルにおいて、1980年代にフレッチャー・マンソンの法に基づいて決められた等ラウドネス曲線に誤差が認められた 5) 新(ISO226-2003)は(ISO226-1965):ロビンソン・ダルトン規格期には、特に14(Hz)以下の周波数領域の広い範囲において、10~15dBに及ぶ誤差が認められる	ISO226-2003(2003)年10月1日発行)として、正式な規格の発行

注: 参考文献(2)から筆者が整理及び加筆したものである。



### 2. 欧州各国の騒音評価について

表4 欧州各国の騒音評価の規格\*\*)

国名	工場	道路交通	鉄道	航空機
イギリス	ISO6813 BS6841	CRN L <sub>10</sub> (L <sub>10</sub> 70%)	CRN	ECAC DOCS (L <sub>10</sub> 40)
アイルランド	BS6841	CRN	CRN	ECAC DOCS
フランス	Handeling rekenen Industrialnoise	NMPS/XP601 -120	NMPS/XP601 -120	ECAC DOCS
オランダ	DIN714/A780 (ISO6813)	RMV(BRM2) -120	RMV(BRM2)	ECAC DOCS
ルクセンブルク	ISO6813	NMPS/XP601 -120	RMV(BRM2)	ECAC DOCS
ベルギー	ISO6813	NMPS/XP601 -120	RMV(BRM2)	ECAC DOCS
イタリア	ISO6813	NMPS/XP601 -120	RMV(BRM2)	ECAC DOCS
スペイン	ISO6813	NMPS/XP601 -120	RMV(BRM2)	ECAC DOCS
ポルトガル	ISO6813	NMPS/XP601 -120	RMV(BRM2)	ECAC DOCS
ポリッシュ	ISO6813	NMPS/XP601 -120	RMV(BRM2)	ECAC DOCS
ドイツ	ISO6813 (VDI 271/A780)	RLS90 L <sub>10</sub> , L <sub>50</sub> , L <sub>90</sub>	BSH90	ASB
オーストリア	ISO6813	CALES L <sub>10</sub> , L <sub>50</sub> , L <sub>90</sub>	BSH90	CALES

注) ISO6813シリーズ：音響一室内における音の収録基準  
 CRN：Calculation of Road Traffic Noise. CRN：Calculation of Railway Noise  
 ECAC DOCS：the European Civil Aviation Conference Documents  
 RMV：Reken-an Meetvoerschrift Vervuervorming  
 RNR：Reken-an Meetvoerschrift Ruisvervalsing  
 RLS90：Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen  
 BSH90：Richtlinie zur Berechnung der Schallimmission von Schienenwegen  
 ASB：Anleitung zur Berechnung

### 4. 日本の騒音評価について

種別	基準等	環境基準	規制基準	指針・条例	備考
環境騒音		L <sub>Aeq</sub>	-	-	一般環境 道路に面する環境
道路交通		L <sub>Aeq</sub>	L <sub>Aeq</sub>	-	等価騒音レベル (実測基準)
鉄道	新幹線	L <sub>AP</sub>	-	-	最大値のパワー平均
	在来線	-	-	L <sub>Aeq</sub>	等価騒音レベル
航空機	大規模飛行場	WECPNL	-	-	加重等価聴覚騒音レベル
	小規模飛行場	-	-	L <sub>eqn</sub>	等価騒音レベル
工場・事業場		-	L <sub>AP</sub> , L <sub>G</sub>	-	L <sub>AP</sub> : A特性の最大値
建設作業		-	L <sub>AP</sub> , L <sub>G</sub>	-	L <sub>G</sub> : 90%レンジの上端値
深夜営業/低声器		-	-	L <sub>AP</sub> , L <sub>G</sub>	
作業環境		-	-	L <sub>Aeq</sub>	労働安全衛生規則
大規模店舗		-	-	L <sub>Aeq</sub>	大規模小売店舗立地法
		-	-	L <sub>Aeq</sub> , L <sub>AP</sub> , L <sub>G</sub>	

### 表 L<sub>Aeq</sub> (等価騒音レベル) の比較と L<sub>50</sub> (中央値)

	L <sub>Aeq</sub> (等価騒音レベル)	L <sub>50</sub> (中央値)
定義	* 現場実測時間帯における単位時間当りのエネルギー平均値	* 現場実測した統計データの中央値
物理的意味	* エネルギーの時間平均値として明確である	* 統計的な累積であり、不明確である
測定の簡便さ	* 一般的に難しい 1) ある一定以上の連続した時間における騒音測定が必要である。 2) 突発的な音や異常音などの影響を受けやすく、これらの影響を除外する必要がある	* 一般に簡易である 1) 大幅に変動する音でも10分間程度の測定で十分に安定した値が得られる 2) 実測中の突発的な音や異常音などの影響をほとんど受けない
計算の正確さ	* 複数の等価騒音レベル値を加算することができる (エネルギー和)	* 一般に、統計値である中央値は、加算できない * 複数の音源から発生する音の合成はできない
騒音との対応	* 等エネルギーの原理から、人間の聴覚反応を適切に表現できる * (例) 深夜、走行する少数の大型車の影響を反映することが可能	* 騒音との反応は、等価騒音レベルほど良好ではない * (例) 深夜、走行する少数の大型車の騒音レベルの影響をほとんど反映されない

### 表 騒音規制法による騒音の大きさの読取り値

区分	評価値
変動せず又は変動が小さい場合	その値
周期的又は同欠的に変動し最大値が一定の場合	最大値の算術平均
不規則かつ大幅に変動する場合	90%レンジの上端値 (L <sub>90</sub> )
周期的又は同欠的に変動し最大値が一定でない場合	最大値の90%レンジの上端値 (L <sub>90</sub> )

表 その他の主な騒音評価量

評価量	説明
$L_{Aeq}$	等価騒音レベルと称し、環境基準、要請限度、在来線指針値に採用
WECPNL	航空機騒音に係る環境基準に使用され、 $L_{max}$ と機数により略算、平成25年以降は、 $L_{den}$ を採用
$L_{den}$	小規模飛行場の騒音指針値として採用、d:day(昼間)、e:evening(夕方)、n:night(夜間)を補正した等価騒音レベル
$L_{max}$	最大値を示し、新幹線騒音の環境基準に採用
$L_{A5}$	工場、建設作業騒音の規制値として使用され、90%レンジの上端値

(例)航空機騒音の場合

評価指標	$L_{Aeq}$	$L_{den}$	$L_{Amax}$	WECPNL (各国における騒音の評価指標)
国際的整合	EU、オランダ、デンマーク、スウェーデン、ノルウェー、ベルギー、フランス等、多くの主要国が採用している。	主要国では、アメリカ、オーストラリア、ベルギー (balloon)のみ。	採用している国はない。	日本、中国、韓国
実行との継続性	WECPNLとはほぼ直線関係にあり、昼間、夕方、夜間の時間帯区分が設置でき、夕方の時間帯が評価できる。	WECPNLとはほぼ直線関係にあるが、夕方の時間帯が評価できなくなる。	WECPNLとはほぼ直線関係にあるが、時間帯の重み付けがなくなる。	—

算定式	
1日ごとの時間帯補正 等価騒音レベル ( $L_{den}$ )	$L_{den} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{24} \left( \sum_{d} 10^{\frac{L_{Aeq,d}}{10}} + \sum_{e} 10^{\frac{L_{Aeq,e}}{10}} + \sum_{n} 10^{\frac{L_{Aeq,n}}{10}} \right) \right)$
加重等価騒音レベル (WECPNL)	$WECPNL = L_{Amax} + 10 \log_{10} N - 27$
$L_{Aeq}$ とWECPNLとの関係	$L_{Aeq} = WECPNL - 13$

(注) 環境省資料：若干手直し

(例) 騒音評価量の特徴

必要条件		$L_{Aeq}$	$L_{Amax}$	$L_{A5}$ など
予測のしやすさ		○	△	△
測定や監視の容易さ		○	△	○
騒音の影響との対応	大きさ	○	×	×
騒音影響との対応	不快感	○	△	△
騒音影響との対応	睡眠妨害	△	○	○
騒音影響との対応	苦情	△	○	△
「騒音に係る環境基準」との対応		○	—	—
国際基準との整合性		○	△	△

引用文献：平成18年度環境省「騒音評価手法及び規制手法等検討調査業務報告書(その2) 平成18年3月

おわりに

\* 振動に関しては、国際規格(ISO)、欧州各国の規格・基準及び米国(FTA, FRA)規格などにおいて、それぞれの評価を行っている。

(例) 振動加速度振幅、振動加速度レベル  
振動速度振幅、振動速度レベル

\* 騒音に関しては、ほぼどこの国でも[等価騒音レベル]にて、評価を行っている。が、日本では、全ての評価値が等価騒音レベルとはなっていない。



ご静聴有難うございました。

