

# —第3回 振動の基礎：振動の影響と評価・規制方法—

独立行政法人 産業技術総合研究所 国 松 直

## 1 はじめに

今回は、最初に振動規制法制定の経緯や評価量として振動レベルが使用されるようになった経緯を示します。次に、振動に対する人の感じ方、振動による様々な影響、そのような影響を評価する方法や、煩わしい振動を規制し、防止する仕組みなどを説明した後、振動規制法制定後の苦情件数の推移について解説します。

## 2 振動規制法制定の経緯

戦後の高度経済成長政策による経済発展の急成長のひずみが 1950 年代頃から顕在化し、日本の 4 大公害病[1]である水俣病、第二水俣病（新潟水俣病）、四日市ぜんそく、イタイイタイ病の発生を受け、公害対策に関する日本の基本法である公害対策基本法(1967)[2]が施行されました。

公害といっても様々な種類のものがありますが、この法律では大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下、悪臭の 7 つを公害と規定していました。

表 3-1 には、振動に関して、振動規制法が制定される以前までの主な項目を西暦とともに示しています。

表 3-1 振動規制法が制定される以前までの主な項目

1911	工場法	1965	大阪府が規制基準を設定
1919	都市計画法	1967	公害対策基本法 典型 7 公害
1929	警視庁「工場取締規則」	1968	守田：ICA で振動レベル計提案
1936	Reiher & Meister の研究※	1968	騒音規制法 施行
1949	東京都「工場鉱害防止条例」	1971	環境庁設置
1963	工場振動に対する指導基準	1972	環境庁が公害振動の検討に着手
1964	ISO/TC108/SC4 開始	1976	振動規制法 施行

※Reiher & Meister：乗り物の乗り心地を中心とした振動評価研究

環境庁(当時)は公害振動を規制するために振動規制検討委員会を設置し、1973 年 10 月に以下の概要を報告としてまとめています[3]。

振動規制の目的	居住の快適な生活と夜間の安眠確保
対象とする振動公害	地面伝播振動によるもの
規制の対象	工場事業場，建設工事，道路交通とし，鉄道は除く
規制方式	騒音，悪臭規制に準ずる
立法形式	単独立法

今後検討すべき事項	工場団地での複合現象，集团的建設工事の検討，家屋等の財産被害の保障措置
-----------	-------------------------------------

1968年の騒音規制法の施行を受け、1972年に振動に関する調査研究「振動発生源からの地表伝搬に関する研究」として、「振動と感覚，苦情との対応」、「地表振動と建屋振動の対応」、「振動公害における振動計測法」、「その他振動公害を法制化するうえで必要とする調査」等の研究を実施し、「振動公害に関する調査研究報告書」（1973.9）をまとめています。以下が、調査研究結果の概要です[3]。

地表振動伝搬	現場の実態調査の結果、振動源からの距離減衰はほぼ3～6dB/倍距離であるが異常値も出る。しかしここでは異常の原因についての検討はなされていない。
振動源	振動発生源は大きい順に、建設工事＞工場衝撃源＞軌道交通＞自動車交通＞工場連続振動源である。
振動の人体感覚	ISO 2631を主体に、文献から実験結果の紹介が纏められた。
生活影響に及ぼす影響	アンケート調査を行い、屋内の振動測定値と振動感覚との対応は良かったが、地面振動と居住者の感じ方との対応は良くない。室内振動と地面振動は一致しない。影響は主に心理的影響で生理的影響を訴えるのは非常に少なかった。
振動の構造物に及ぼす影響	物的被害と振動量との対応は系統的には出てこなかった。
地表振動と建屋内振動	調査家屋のほぼ半数で増幅が見られた。
測定器と測定法	振動公害に対する振動レベル計の実用性が立証され、測定法は日本音響学会案で矛盾が無いことが分かった。
振動規制値	地域ごとよりも全国的な統一が必要とされた。
今後の課題	土地利用による地域規制をより具体的にして、振動排出側と受振側との相互利益を考えるようにすべきである。振動源対策技術開発をもっと発展させなければならない。

それ以外でも、環境庁において、「工場振動(1973)」、「道路交通振動(1974)」、「新幹線鉄道振動(1974)」に関して社会調査が実施されています。その後、中央公害対策審議会騒音振動部会振動専門委員会において議論され、振動規制法が1976年11月に施行されました。

振動規制法制定に関して、以下が指摘されています[3]。

鉛直振動レベルの採用	計量法が後押しした。
測定点の問題	振動規制法は排出規制。同じ振動源の地表の振動と居住者の居る場所の振動との差が大きな問題。
地面振動と家屋振動の増幅度	日本家屋対象。現場調査の結果、構造、測定する個所、鉛直・水平の方向による違い。鉛直方向の振動レベルによる平均的な増幅を5dBとした。
規制値の決め方	非定常振動に対して、80%レンジ上端値を使うことにした。
規制値	いくらのレベルを規制値として出すかは大きな問題。振動を感じないというだけで決めてしまうのは社会活動に大きな影響。一般環境での振動レベルに対する生理影響実験では短期暴露に対応する反応は

	認められない。睡眠深度に影響の現れる 60dB が振動規制法の規制値を決める上で重要な役割をした。
財政的課題	施策実現のための財政負担。各省庁はゆるい規制値を望む。

振動規制法の施行に当たり、振動の計測器、評価、規制の考え方について、当時の研究成果の参照や調査が実施され、議論されました。振動に対するいろいろな苦情を的確に評価できる指標（評価量）があれば、非常に助かるのですが、苦情にはシリーズ第 1 回で少し記述したように非常に複雑な要因が絡むため、一つの指標で評価することは難しいのが現状です。しかし、評価及び規制のためには何らかの評価量が必要であることから振動規制法では、振動レベル（単位：デシベル，表記：dB）が用いられることになりました[3]。ただし、繰り返しになりますが、この値だけで苦情を的確に評価することは難しいということを忘れてはいけません。

### 3 振動規制法の体系と評価量

昭和 51 年(1976 年)に制定された振動規制法の体系は概略以下のように示され、工場振動、建設作業振動、道路交通振動を規制の対象としています。

地域 指定 (3)	工場振動 (特定施設) (2.1)	届出義務 (6)(7)(8)(10)(11)	規制基準 (2.2)(4)	罰則(25)～(29) 計画変更勧告(9) 改善勧告(12.1) 改善命令(12.2)
		規制基準遵守義務 (5)		
		報告検査/測定 (17)/(19)		
	建設作業振動 (特定建設作業) (2.3)	届出義務(14)	規制基準 (15.1)	罰則(26)～(29) 改善勧告(15.1) 改善命令(15.2)
		報告検査/測定 (17)/(19)		
	道路交通振動 (道路交通) (2.4)	測定(19)	要請限度 (16.1)	道路の舗装、修繕等の 要請/交通規制の要請 (16.1) 執行(16.3)

ここで、図中の( )内は条文を示し、例えば、(2.1)は法第 2 条第 1 項を示しています。

#### (1) 振動計測

シリーズ第 2 回で説明したように、振動を表す物理量としては、変位、速度、加速度があります。またこれらの量について、波形を特徴付ける値として、全振幅、片振幅のピーク値、実効値などがあります。単位についても、変位に対して、ミクロン（現在は、マイクロメータ， $\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$ ）、速度に対して、カイン（kine,  $\text{cm/s}$ ）、加速度に対して、ガル（gal,  $\text{cm/s}^2$ ）などがあります。これらの物理量の計測をもとに、苦情や感覚との対応がよい指標について現在も研究が進められています。過去に行われた人体の振動の感覚

実験から、人体が感じる振動の大きさに関する感覚が、だいたい振動速度に対応しているということから、振動規制法施行以前には、振動速度による規制も行われていました。その後、ISO（国際標準化機構）の流れを受け、騒音レベルや騒音計を参考に、振動レベルが定義され、振動規制法施行規則において振動レベルを測定する評価量とすることが明記されました。従って、振動規制法という規制基準に関する測定を行う場合は、計量法第71条に規定する振動レベル計を用い、鉛直方向の感覚補正を行った振動加速度レベル（振動レベル）を計測することになります[4]。

計測器としては振動レベル計の JIS 規格(JIS C 1510)が 1976 年に制定され、1995 年に改定されています。振動レベル計では、振動レベルの表示にあたって、連続正弦振動による実験結果から振動感覚補正や衝撃正弦振動による結果から時定数が考慮されています。

## (2) 振動感覚

図 3-1 はいくつかの振動感覚補正特性を示しています。1976 年制定時の補正特性は鉛直方向振動感覚補正特性(V)，(黒線)と水平方向振動感覚補正特性(H)，(赤線)です。現在は、JIS C 1510:1995 の鉛直方向振動感覚補正特性(V)と水平方向振動感覚補正特性(H)が

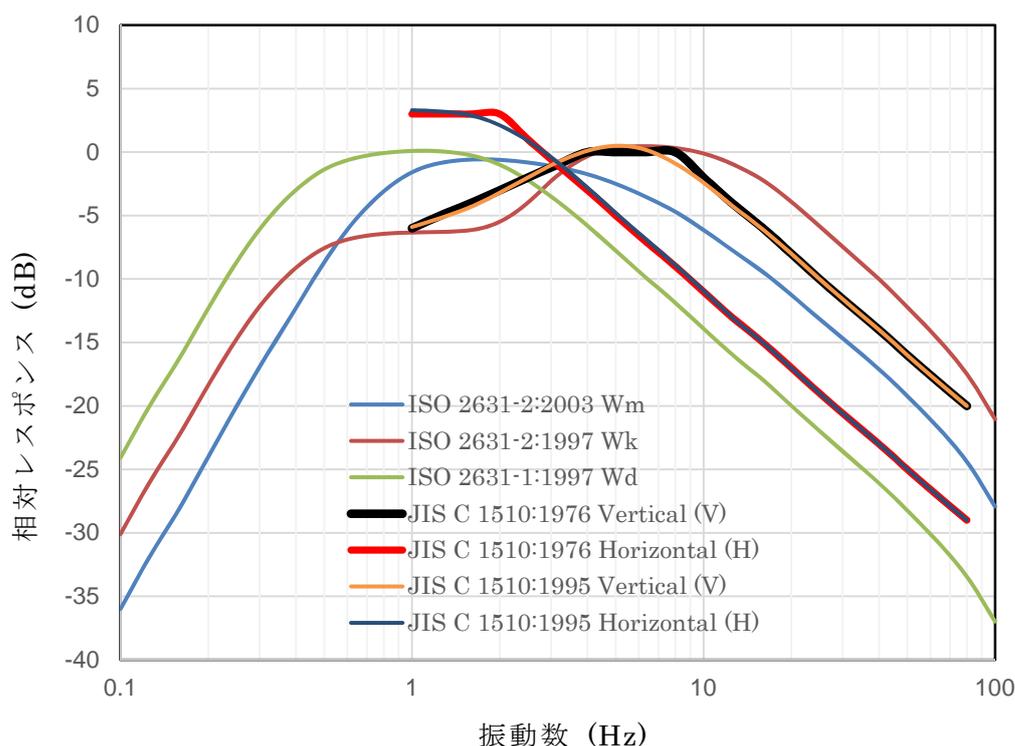


図 3-1 感覚補正特性

規定されています。その他は、ISO で規格化された建物内での全身振動（全方向）用の補正特性(Wm)、鉛直全身振動（Z 軸、座位、立位、仰臥位）用の補正特性(Wk)、水平全身振動（X 軸または Y 軸、座位、立位、仰臥位）用の補正特性(Wd)が示されています。これらのいくつかの曲線から人体の振動の感じ方は振動の方向によって異なることが分かります。また人体の姿勢（座位、立位、仰臥位）によっても異なることが指摘されていま

す。これらの曲線は連続正弦振動を用いて振動数と加速度振幅を変化させた結果から規格化された特性ですが、振動感覚は振動感覚補正特性の逆特性と見ることもできますので、これらの特性から、水平振動に対しては 1～2Hz、鉛直振動に対しては 4～8Hz の振動に対して人体は敏感といえるようです。

さらに、連続正弦振動ではなく継続時間の短い正弦振動を用いた実験結果では、継続時間が短くなると振動を小さく感じる事が報告[5]されており、この結果を評価量に反映させるために、JIS 規格において振動レベル計の指示計の動特性(時定数, 時間重み特性)として時定数 0.63 秒が規定されています。

## 4 振動の影響

耳を通して刺激が脳に伝わる音と異なり、人体には外部からの振動刺激を受け取る知覚神経の終末が受容器となって全身に分布しています[5]。

振動受容器で発生した信号は下表のような経路により、いろいろな応答を示します[5]。

このような生体内反応系は振動刺激時にだけ働くものではなく、騒音などの環境因子でも生じるので、環境因子が多数存在する場合に、振動刺激のみに限定してその関係を議論することは大変難しいことです。振動による人体への影響は、生理的影響、睡眠影響、心理的影響に大きく分けられます。

生体内反応系の経路	刺激個所	応答作用
脳幹網様体賦活系	脳幹網様体	
視床下部－大脳辺縁系	旧皮質, 古皮質	本能, 情動: 不快感や快感, 怒り, 恐れなどの種々の感情を生じる原因
視床下部による自律神経系制御	自律神経系	内臓の筋肉の運動と腺の分泌を支配, 交感神経緊張型の反応
視床下部－下垂体系	下垂体	全身の内分泌器官の中樞

### (1) 生理的影響

振動刺激による生理的影響としては、以下のような例が挙げられ、人体に 90dB 以上の振動を暴露した場合に血圧上昇、血管収縮、心拍数増加、血糖値上昇、体温上昇、胃腸機能低下など交感神経系の興奮による生理的影響が生じるといわれています[5]。

損傷	脳, 肺, 心臓, 消化管, 肝臓, 腎臓, 脊髄, 関節など
循環器系	血圧上昇, 心拍数増加, 心拍出量減少など
呼吸器系	呼吸数増加
代謝	酸素消費量増加, エネルギー代謝率の増加など

ただし、90dB 以上の振動レベルの大きさは、日常生活において体感することは希な大きさです。

### (2) 睡眠影響

生理的影響がかなり高い振動レベルで生じるのに対し、睡眠影響はそれより低い振動レベルで影響を及ぼすので苦情の原因となりやすいようです。

30年以上前に、振動台上の寝具の上で、鍛造機の振動を30秒間振動暴露させたときの睡眠妨害度の実験結果として、以下の結果が得られています[5]。

睡眠深度	振動レベル (覚醒率(%))
1度	60dB(0%), 65dB(71%), 69dB以上(100%)
2度	60dB(0%), 65dB(4%), 69dB(24%), 74dB(74%), 79dB(100%)
3度, 4度	74dB以下(0%), 79dB以上(50%以下)
レム睡眠	深度2度と3度の中間程度の影響

### (3) 心理的影響

人は振動感覚のみだけでなく、視覚、聴覚による振動の感知などによって、不快、煩わしい、耐え難いといったいろいろな感情が生じます。

しかし、一般的には、視覚や聴覚の影響が無い環境で、振動台を用いた被験者試験によって振動刺激に対する感覚実験が行われます。以下は振動数や振幅を変化させた振動台による振動刺激後に行われるアンケート内容の一例です。

Q1	まったく不快でない	あまり不快でない	不快である	かなり不快である	非常に不快である
Q2	とても小さい	小さい	どちらでもない	大きい	とても大きい
Q3	まったく不安を感じない	あまり不安を感じない	不安を感じる	かなり不安を感じる	非常に強く不安を感じる
Q4	まったく感じない	あまり感じない	感じる	強く感じる	耐えられない

この表のように、この実験方法では知覚以外の振動感覚についてもデータを得ることができます。Q4の結果に着目すれば、知覚閾値を検討することができます。また、被験者試験による上下法では、振動刺激後ではなく、知覚時に被験者からの合図をもとに振幅を変化させて、知覚閾値を求める方法も行われています。

一方で、実際に日常的に振動に暴露されている居住者を対象としたアンケート調査と、回答者宅における振動測定を組み合わせた「社会調査」と呼ばれる方法を用いて影響を検討する方法もあります。振動規制法制定前には、工場、道路交通、新幹線鉄道を対象に社会調査が行われ、規制基準が検討されています。

振動についての感覚と振動レベルとの関係は、社会調査による結果から、住民が振動をよく感じるという訴え率が50%になるのは、振動レベルでほぼ70dBを超えたあたりといわれていますが、その人の生活する地域や性、年齢、利害関係なども人間の心理に影響するといわれており、数値だけで判断することは難しく、ひとつの目安と考える方がよいといえます。

例えば、乗り物では70~90dBぐらいの振動が生じていますが、乗り物には当然振動が伴うという心理的背景と乗り心地という観点から車両振動をとらえているので、かなり大きな振動であるにも関わらず、苦情は発生しにくいということがあります。自動車の車内でも同様のことが言えるのではないのでしょうか。

図3-2に振動レベルとその影響の概要を示します。

2 振動レベルと振動の影響との比較

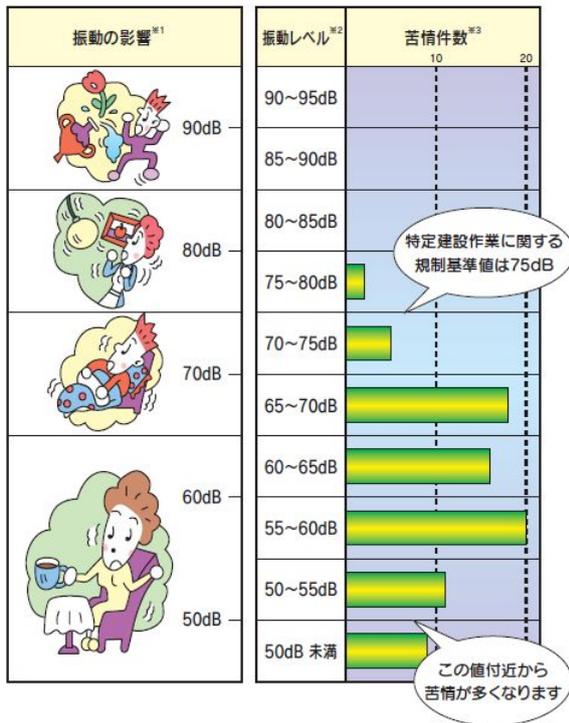


図 3-2 振動レベルとその影響の概要

出典：よくわかる建設作業振動防止の手引き  
(環境省 環境管理局 大気生活環境室)

※1：振動の影響

東京都が公表している資料を引用

※2：振動レベル

振動レベルは敷地境界付近での実測値

※3：苦情件数

平成 15 年度に実施した振動苦情に関する全国自治体アンケート結果

5 振動規制法による規制基準

以上のような経緯を経て、振動規制法（1976 年制定）の中に、特定工場等に関する規制(法第 2 条第 1 項)、特定建設作業に関する規制(法第 2 条第 3 項)、道路交通振動に係わる要請(法第 2 条第 4 項)などが示されています。

以下の表に振動源毎の規制基準、要請限度の値を示します。

対象振動	規制基準／要請限度	区域	昼間	夜間
特定工場等	規制基準	第 1 種区域	60 デシベル以上 65 デシベル以下	55 デシベル以上 60 デシベル以下
		第 2 種区域	65 デシベル以上 70 デシベル以下	60 デシベル以上 65 デシベル以下
特定建設作業	規制基準		75 デシベル	
道路交通振動	要請限度	第 1 種区域	65 デシベル	60 デシベル
		第 2 種区域	70 デシベル	65 デシベル

規制基準（特定工場等）：特定施設を設置する工場又は事業場において発生する振動の  
特定工場等の敷地の境界線における大きさの許容限度

規制基準（特定建設作業）：特定建設作業の振動が、特定建設作業の場所の敷地の境界  
線において、75 デシベルを超える大きさのものでないこと

要請限度（道路交通振動）：法第 16 条第 1 項の環境省令で定める限度

第 1 種区域：良好な住居の環境を保全するため、特に静穏の保持を必要とする区域及び  
住居の用に供されているため、静穏の保持を必要とする区域

第 2 種区域：住居の用に併せて商業、工業等の用に供されている区域であって、その  
区域内の住民の生活環境を保全するため、振動の発生を防止する必要がある区域及び

主として工業等の用に供されている区域であって、その区域内の住民の生活環境を悪化させないため、著しい振動の発生を防止する必要がある区域

昼間：午前 5 時、6 時、7 時又は 8 時から午後 7 時、8 時、9 時又は 10 時まで

夜間：午後 7 時、8 時、9 時又は 10 時から翌日の午前 5 時、6 時、7 時又は 8 時まで

デシベル：計量法別表第 2 に定める振動加速度レベルの計量単位

### (1) 振動レベルの決定

条例に記載されている振動レベルの決定の仕方の記述を以下に示します。

#### a) 特定工場等

特定工場等の振動に対する振動レベルの決定は、

- 1)測定器の指示値が変動せず、又は変動が少ない場合は、その指示値とする。
  - 2)測定器の指示値が周期的又は間欠的に変動する場合は、その変動ごとの指示値の最大値の平均値とする。
  - 3)測定値の指示値が不規則かつ大幅に変動する場合は、5 秒間隔、100 個又はこれに準ずる間隔、個数の測定値の 80 パーセントレンジの上端の数値とする。
- ことが法第 4 条及び「特定工場等において発生する振動の規制に関する基準」に記載されています。

#### b) 特定建設作業振動

特定建設作業の振動に対する振動レベルの決定は、

- 1)測定器の指示値が変動せず、又は変動が少ない場合は、その指示値とする。
  - 2)測定器の指示値が周期的又は間欠的に変動する場合は、その変動ごとの指示値の最大値の平均値とする。
  - 3)測定値の指示値が不規則かつ大幅に変動する場合は、5 秒間隔、100 個又はこれに準ずる間隔、個数の測定値の 80 パーセントレンジの上端の数値とする。
- ことが、法第 15 条及び振動規制法施行規則第 11 条別表第 1 に記載されています。

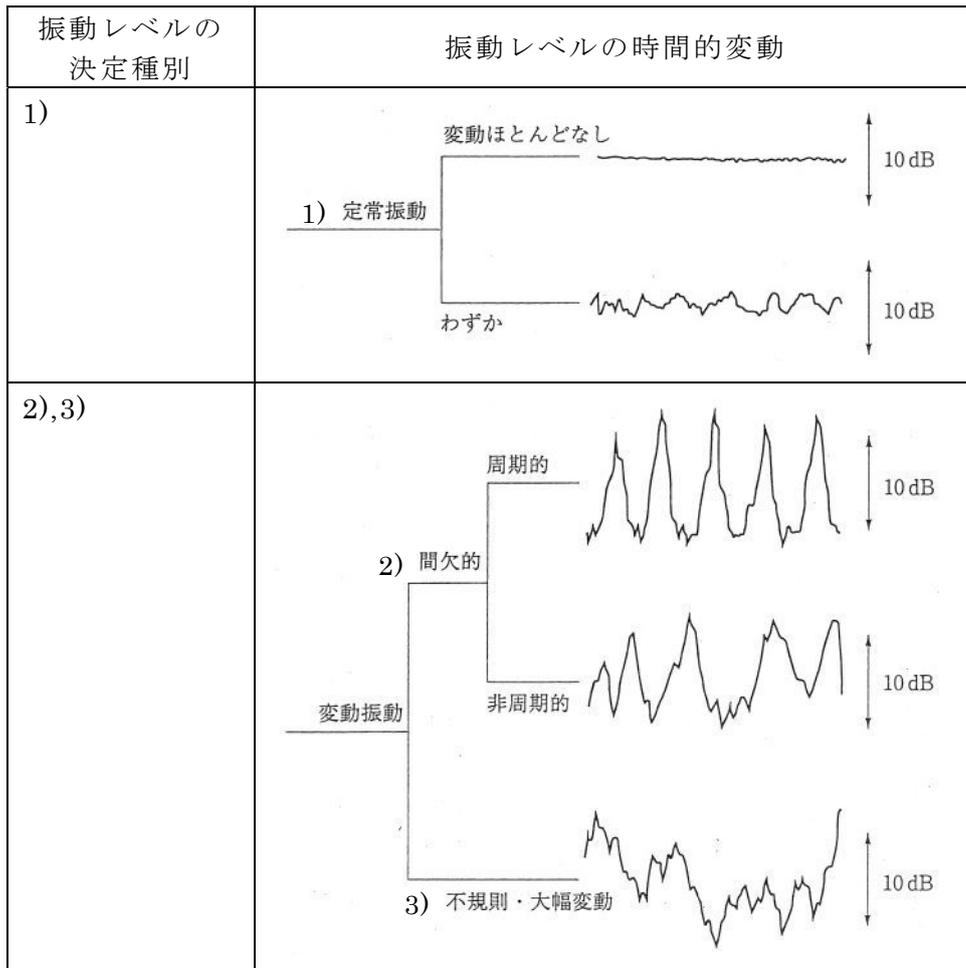
#### c) 道路交通振動

道路交通振動に対する要請限度である振動レベルは、5 秒間隔、100 個又はこれに準ずる間隔、個数の測定値の 80 パーセントレンジの上端の数値を、昼間及び夜間の区分ごとにすべてについて平均した数値とする。

また、学校、病院等特に静穏を必要とする施設の周辺の道路における限度は、上表に定める値以下当該値から 5 デシベル減じた値以上とする。

ことが、法第 16 条及び振動規制法施行規則第 12 条別表第 2 に記載されています。

上記に記載の振動レベルの時間的変動と振動レベルの決定の仕方については、下図のような例が文献[6]に示されています。



## 6 振動苦情の推移

振動規制法が制定されてから既に35年以上が経過しています。その間の公害苦情件数調査等の主な変遷は総務省ホームページに詳しく掲載されています。それによると、1994年と2004年に以下のように大きな変更が行われているので、公害苦情件数の連続性は保たれていないようですが、大まかな推移は理解できると思います。

1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「公害苦情件数調査」と「地方公共団体における公害苦情処理状況」を一本化し、「公害苦情調査」として開始</li> <li>・「公害苦情件数調査」について、調査の方法を都道府県・市町村ごとに集計した集計表を回収する「集計表回収方式」から、苦情1件につき1枚の調査票を作成し回収する「個票集計方式」へ変更</li> <li>・典型7公害以外の苦情について整理し、分類項目等を変更</li> <li>・「地方公共団体における公害苦情処理状況」について、抽出調査から全数調査に変更</li> <li>・前年度以前に受け付け、当該年度に処理された苦情についても調査の対象に含めるなど調査方法等を変更</li> </ul>
2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境省所管の「騒音規制法施行状況調査」「振動規制法施行状況調査」及び「悪臭防止法施行状況調査」のそれぞれ苦情に係る部分について、同時調査を開始</li> <li>・同時調査実施に伴い、調査事項等を見直し、分類項目を変更</li> </ul>

図3-3は年度毎の典型7公害とそれ以外の苦情件数です。苦情件数の総数で見れば、2009年以降は横ばいの傾向で8万件程度になっています。図中の赤破線は大きな変更があった年度の前を示しています。

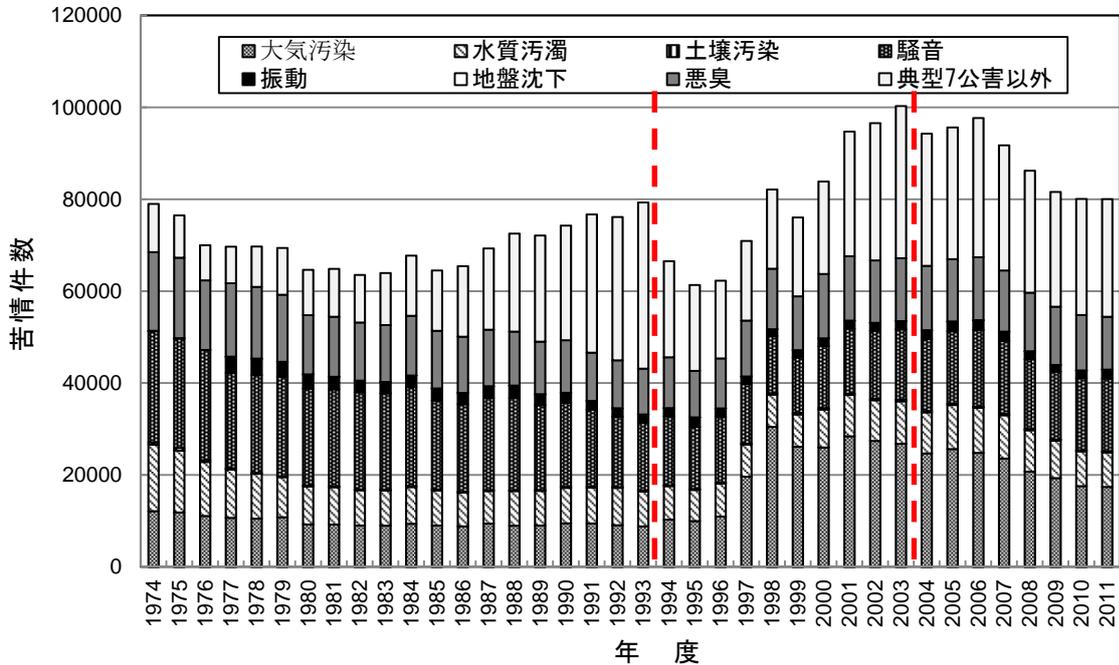


図 3-3 年度毎の典型7公害とそれ以外の苦情件数の推移

図3-4は典型7公害とそれ以外の苦情件数を内訳で見た図です。1993年度と1994年度では典型7公害以外の苦情件数の減少が目立ちます。これは調査方法の変更が影響していると思われます。また1996年度と1997年度では大気汚染の件数が3倍程度増加しています。

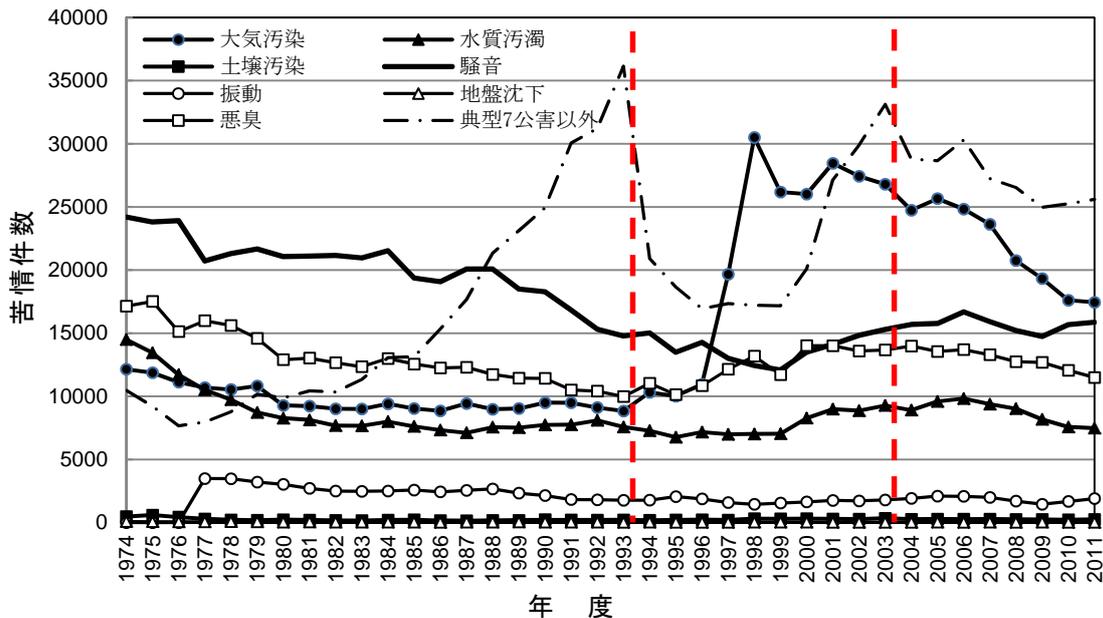


図 3-4 年度毎の公害種別ごとの苦情件数の推移

これらの図から、1994年度前後で連続性が保たれていないように見えます。1994年度以前、典型7公害の苦情件数は着実に減少し、一方典型7公害以外の苦情件数が増加してきています。1994年度以降は、典型7公害以外及び大気汚染の苦情件数に大きな変動が見られることが分かります。

また、図3-5は、1991年度～2011年度の振動公害を対象とした振動源ごとの苦情件数[7]を示しています。振動による苦情は、大まかに2000件程度で推移しており、だいたい、騒音の苦情件数の1/10程度です。

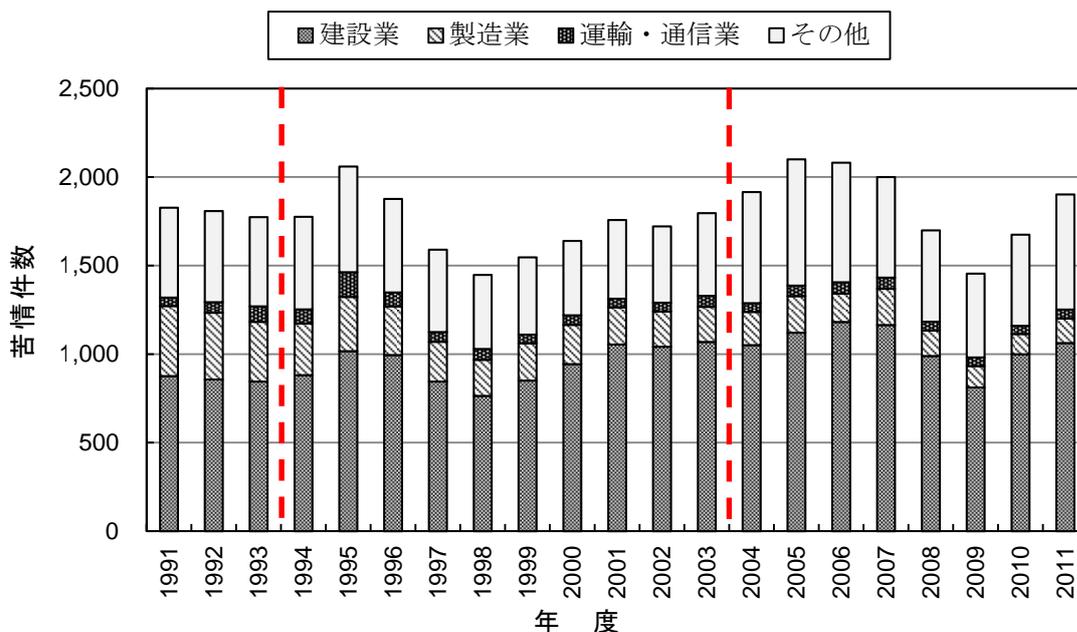


図 3-5 振動源別苦情件数の推移

この図から、建設業による苦情件数が1000件程度と最も多いことが分かります。振動源ごとの苦情件数の割合を示した図3-6から製造業は減少傾向、運輸・通信業は横ばい傾

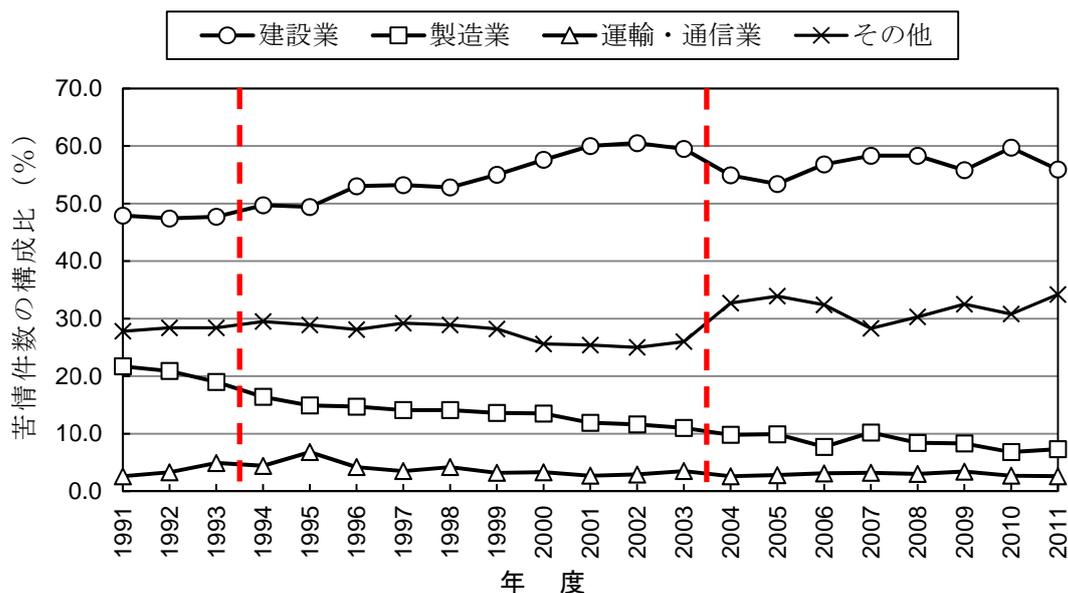


図 3-6 振動源ごとの苦情件数の構成比の推移

向であり、約60%と一番割合の多い「建設業」や「その他」に変動があることが分かります。

以上のような推移だけからは分かりませんが、振動規制法制定時から現在までに、苦情の質が変わってきたことが推察されます。すなわち、法規制以前の規制対象の振動源から発生する振動は規制基準以上の振動を発生させていたと考えられますが、現在では振動源の低振動化や対策技術の進歩により規制基準を超えるような振動は少なくなっているようです。このことは、当初の振動源の振動を規制するという法の目的に沿った規制のあり方は有効に機能したと思われれます。しかし、図3-7の適合率が示すように、近年の規制基準は満足しているが苦情が生じるという実態を考慮すれば、環境振動問題の新たな側面が顕在化し、現行法での対応が難しくなっているのではないかと考えられます[8]。

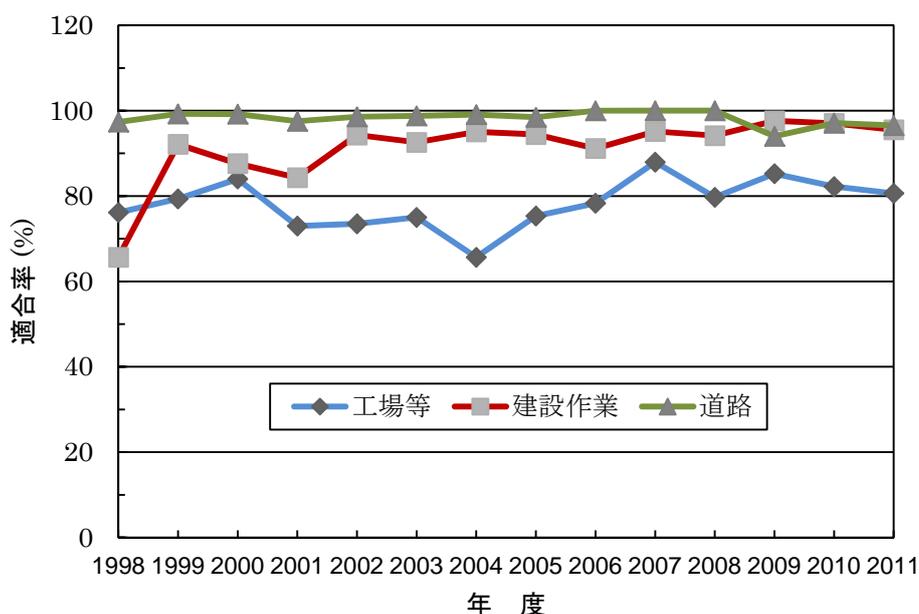


図 3-7 振動源ごとの基準適合率の推移

### 【参考文献】

- [1] 例えば：<http://ja.wikipedia.org/wiki/公害病>
- [2] 例えば：<http://ja.wikipedia.org/wiki/公害対策基本法>
- [3] 時田保夫：振動規制法－あの頃とこれから－、騒音制御、34 巻、2 号、p.151－156、(2010)。
- [4] 日本騒音制御工学会編振動法令研究会：振動規制の手引き、p.151。(2003)。
- [5] 公害防止の技術と法規編集委員会編：新・公害防止の技術と法規 2013〔騒音・振動編〕、pp.186,187,191,196,197～198,202、(2013)。
- [6] 公害防止の技術と法規編集委員会編：新・公害防止の技術と法規 2013〔騒音・振動編〕、p.382、(2013)。
- [7] 振動規制法施行状況調査、環境省
- [8] 国松直・平尾善裕・松本泰尚・北村泰寿：公害振動評価に関わる諸問題と今後の対応、騒音制御、35 巻、3 号、pp.271～278、(2011)。