

建物その他の振動問題

大阪大学工学部 鳥海 勲

1. 機械の振動障害問題

振動問題はこと新しく発生した問題ではないが、戦後急激に多くなつたように見受けられる。その原因は色々考えられるのであるが、振源となる機械等が大型化して来たのも一因とみられる。更に逆にそれを納める建物がしなやかになる傾向にあることも、これを助長していると考えられる。

一般に振動問題といえはすぐ何か振動により好ましからぬ現象が起つていようと考えられるほど、振動による障害問題は各所で起つている。外部から問題をもち込まれるときは、大抵この障害問題であることが多い。最近では、構築関係のハンドブックにも振動の項の外に、振動障害の一項を別に設けるものも出てきた。この障害問題に関してはわれわれの立場はほとんど医者立場と同じではないかと思われる。現象が既に起つているものでは、その状況を測定することにより、従来の資料、経験、理論と照合して、その現象の立場の見当をつけ大体妥当な対策をたてること出来る。近くの機械のため、ゆれて針の正確な位置のよめない配電盤、トラック通過時ブレて精度のおちる写真印刷の大型引伸器、工場操業時ゆらゆらゆれて作業のつづけられない煙突内部の耐火煉瓦積み、地階にあるディーゼル発電機の振動の出現する4階の電話交換室、増築用杭打ちにより仕事の出来ぬ国際電報局等々いろいろである。

しかし医学の目標が予防にある如く、振動障害の対策も、実はその予防にあるのが本当と考えられる。測定資料も5、6年前に比べると相当豊富になつてきたので、機械等の設置前に設置後の大体の状況が、正確ではないまでも予測出来るようになってきた。はじめにこの方面のことを厳密でないまでも考慮するだけで充分防げたであろうと考えられるような場合が、少なからずある。

最近では防振装置は各所に使用されるようになってきたが、しかしこれもそのカットすべき振動の性質をみきわめてから使用しないと逆効果をもたらすことがある。何でも防振装置を入れておけばよいという考えは誤りである。まして機械によつては基礎コンクリートの剛性にたよつて、機械自身の剛性は案外少い設計のものもある。これらは、そのまま防振装置を施しても、機械自体の剛性不足のため面白からぬ結果となる。ディーゼル・エンジン等

の大型のものは、最近でははじめから設計された防振装置が付くようになってきたが、喜ばしいことと思われ。しかし、それだけ費用がかさむので、常に付属しているとは限らない段階にある。これらは、比較的防振装置の効果の発揮しやすい振動数であるのでそうなつたのかもしれない。

2. 局部振動論

建物等は複雑な構成をなしているもので、各部の詳細にわたつてその振動状況を予測することは未だなかなか難しい。設置される基礎そのものについては、大体見当はついても、その周辺或いはもつとはなれた場所の振動出現状況まで全部推定することは困難である。床にしても部分的には配管溝等で薄い所もあるし、壁も柱も梁もすべてその受持つ役割は類似のものでも多少は異なる。

地階のディーゼルの振動が如何にして建物各部に伝わってくるのか。勿論柱、壁等を伝わってくることは判つてもその伝達の状況は如何。有限寸法の物体の中を振動波が伝わってくる途中では、その物体の形により通過し易い。或いは、通過し難い振動数があるはずだし、共鳴的な形もあり得ると考えられる。第一、コースが一つか二つの単純なものではない。従つて同一振源より同一地点に伝わる振動も数多くのコースを別々に通過してきたものであり、その位相も波形も異つたものが合成されることになる筈である。或いは将来、柱や壁の形を一部適当な形にすることによつて下より伝わってくる或る振動は、そこでうまく阻止せれるようなことが出来るかもしれない。この梁が機械の振動を上層へ伝達する主犯とみて、その梁を周辺よりカットしたが上層に現われる振動には何の変化もなかつたというようなこともあつた。この辺の伝達受持ち率の推定等は今のところなかなか難しい問題である。

気候学にマイクロ気候学というものが余り発達はしていないがあるように、振動問題にも局部振動論的なものが一分野として必要であると考えられる。今迄のところ何回かの試みは全く力不足を感じさせる結果に終つているが、若しこの分野が発展すればくもの巢のようにはりめぐらされた建物の力の伝達経路を、1ヶ所より振動波を送り建物各部で同時にそれを受けることを系統的に行えば、建物各部の力の伝達関係の割合位は判定出来るので

はないかと考えている次第である。

3. 建物内への機械の据付

現状では建物設計時に設置される機械の形、配置等が正確に判らないこともあり、また、途中で機械が新型、或いは別種のものに置き換えられることもあるので、機械とその下にある梁等の関係がうまく行っていないものをよく見かける。特に同種のを10台も据付けの際には、その割付けの関係上色々な条件のものが出てきて、振動状態も各々変ってくる。また、機械基礎附近は余り振動していないが、はなれた床がよくゆれているというようなこともよく見かけられる現象である。振動を発生する機械ならば、その発生する不平衡力の大きさは不明としてもその振動数を確認して床版の状態を考えさせて設置するのが妥当な方法であろう。わが国では余り見当たらないが、たとえば輸入されたスウェーデンの機械に、その設置さるべき建物床との振動関係を明示して床版の固有振動数を何 \sim /S以上にせよと指示してあるのをみうけた。亦機械の発生する不平衡力は青図だけを見てもなかなか推定が困難なものであるが、説明書にその不平衡力の値が記入してある等、親切だと思われる場合がある。西ドイツの機械でも同じようなことを経験した。米国及び日本ではどうもこちらから改めて問い合せないと知らせてくれないことが多い。

この機械基礎の振動問題はよく混同されるのであるが、機械そのものの振動をとめるのか、それとも周辺の振動をとめるのかをはつきり区別する必要がある。機械そのものの振動を小さくすれば周辺の振動も比例的に小さくなる場合もあるが、機械そのものと周辺とは必ずしも常に同じ動きをするものではない。そこでその対策を考える際次の問題にぶつかるのである。

4. 機械はどの程度ゆれてもよいのか

即ち機械の耐振限度の問題である。勿論ゆれないことにこしたことはない。しかし構造的に或程度ゆれるのは止むを得ないとすればその程度はどこまで許されるのか。この返事は機械製作会社のなすものか、使用者がなすものかそれも確かでない。われわれの立場よりみれば機械全体が剛でゆれているならば相当ゆれてもよいように考えるのであるが、使用者側の人々は大概それを嫌ってゆれないように希望される。

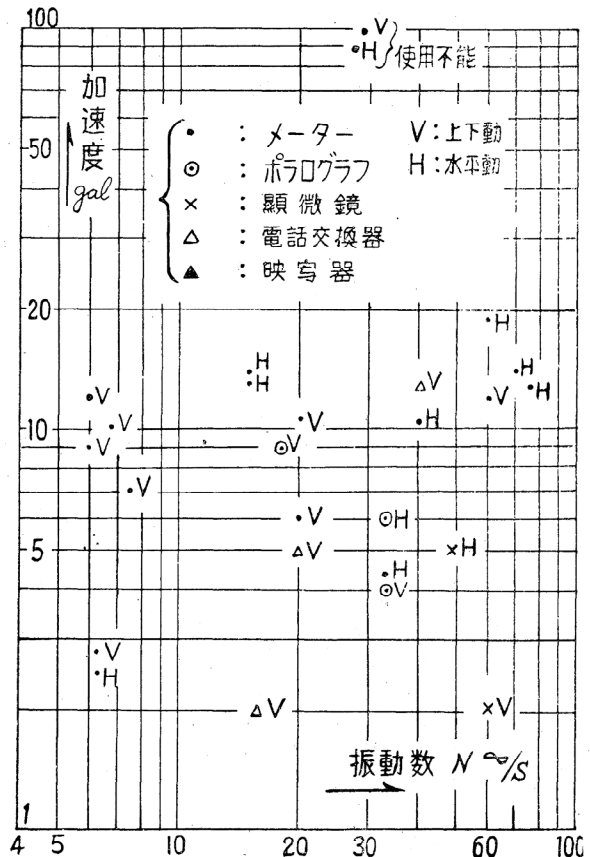
基礎はゆれないようにと米国の機械製作会社より指示があり、しかもその振巾は零でなければいけないと云ってきたことがあつた。これは或いは政策的なものを含んでいるのかもしれないが、理論的には零になる筈のものでないの、実際には経済をも考えての最少程度の振巾

に押えて設計、施工してみると結果は勿論人体に感じる程にゆれているにもかかわらず O.K. であつたといううなこともあつた。

また許容振動値を天下一的に示されることもあるが、その数値を接触面の油膜の破壊等から推定されるのも一方法だと思われる。しかしこれでは大きくなりすぎて不必要になるかもしれない。それで現在のところ、実際に支障なく使用されている機械の振動実測値より不等記号的に使用限界を求めてゆく経験的方法をとっているが、同じ種類の機械でも全く同じものではなく完全なものではない。

しかし私の現在の感じでは相当ゆれてもよいのではないかと思つている。何故ならば、地震時にもまた或いは付近で杭、矢板を打込んでいる時でも、相当な振動をうけながら異常なく運転しつづけている例が多いからである。しかし寿命の多少の変化になつてくるといふならばよく判らない。

以上は自ら振動を発生する機械であるが逆に振動の被害をうける方の側のもの、即ち精密器械類の耐振実用限界の問題も起る。これもまた構造等よりして、一概にいえないがやはり実測資料によつているのが現状である。第1図はこの小型器械類の耐振実用状況を示したものでメーター、ポラログラフ、顕微鏡等に関するものである

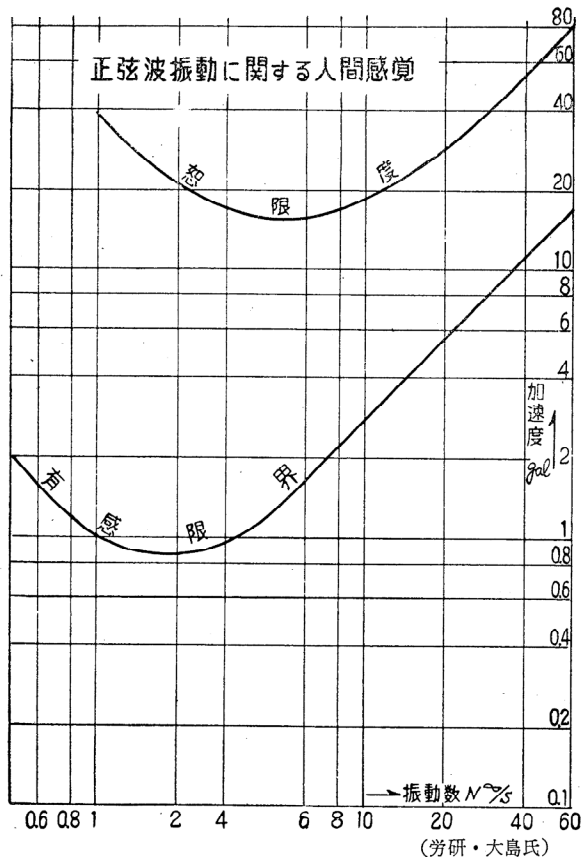


第1図 小型機器耐震実状

が、上部の100gal付近にあるメーターの2点を除き他は全部実用になつているので案外これら機械は振動に強いとみられるが、数が多くないのではつきりしたことは云えない。

5. 人間はどの位の振動にたえるか

これと同じようなことが人間に関しても云える。人間はどの位の振動にたえ得るか。これも耐えると云つても死なぬ程度に耐えるのか、身体的に不快にならぬ程度に耐えるのか、或いは生活として不快にならぬ程度まで大いにその値は変つてくる。人間の振動障害の問題は、最近建築学会の内部に小委員会が設けられ、その限界を如何に引くかの議論がはじめられたが、未だ決定に至っていない。それは音響の方では、たとえば何ホーンというような比較的簡単な数値で規定されているのに対し、振動の場合はその伝達経路に介在するものの評価がつけ加つて、問題となるからである。たとえば、機械運転による振動が基礎より地盤に伝わりそれが木造家屋に伝達される。人間はその家屋の一階或いは二階の床面に住んでいるので、当然判定はその位置でなすべきことになるが、家屋の振動に対する反応は必ずしも一定でなく、老朽家屋、或いは新築でも構造的におおの異なる。標準家屋を設定することも問題があり、それをさけて地表面

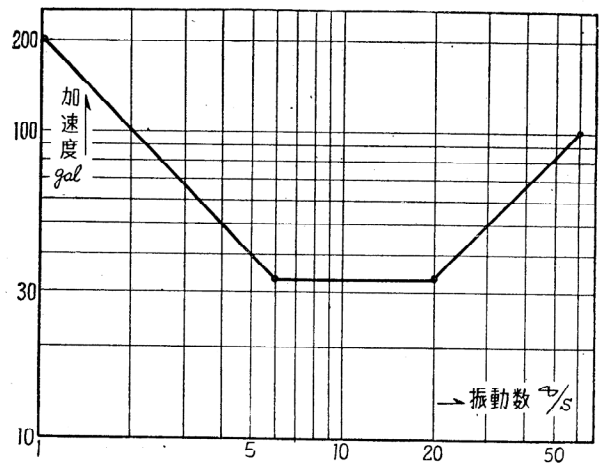


第2図

(労研・大島氏)

での値で判定するとすれば人間の耐振曲線との関連が不分明となる。大体木造家屋では、振動の性質によつても違ふが、2階床では地表の振動の2~5倍位の大きさの振動となるのが普通のものである。従つて、地表では人体に感じなくても、室内では充分感じることもあるわけである。

第2図は人体の振動感覚曲線であるが、これの有感限界は、私の経験でも多少の巾をもつて大体妥当と思われが、恕限度の方は、この恕限度の意味が動物実験、飛行士の感覚等による資料を集めたもので、吾々の設計における人間の振動感覚許容限界とするには、大分大きすぎるように考えられる。いずれにしても人間は、余りゆつくりした振動にも余りはやい振動にも感じ難く、2~5/s付近に最も感じ易い谷がある。即ち光、音等と同じく振動に対しても人間は周波数特性をもつ訳である。資料はやや古いが第3図は、自動車の乗り心地の方から見た振動の許容限界であるが、これは相当大きい値に出ている



第3図 自動車の乗心地の上から見た振動の許容限界

る。即ち人間はゆれるものときめている場合には相当ゆれてもよいということになる。実際は常時微動をつづけているのではあるが、建物はゆれないのが本当と思つてしまつているのが実状であろう。しかしこの考えはいずれ訂正さるべき時機がくると思われる。建物は次第にしなやかになり、ゆれやすくなりつつある。建物全体もそうだし、個々の部分、たとえば床版等もそうである。しかし余りゆれすぎでは人に不安の念を起させるかもしれないから、(既にそのため、何か建物に異常があるのではないかと相談をうけたことが幾度かある) 何等かの方法で規正される時代になるかもしれない。

6. 音との関係について

音と振動とは本質的には同じであるが普通は別々に扱われている。しかし地階にある機械の音が密閉してある

5階の部屋に音として出現する。地下鉄の動きを付近の人々は家にいて知ることが出来る。壁体音とよばれるこの問題が、前述の局部振動論と付随して未開拓の分野となつて浮び上つてきている。一部の音響関係の人もこの問題に関心を持ち出したようである。振動のあるところ、必ず音響ありで、その両者のカップルに人間が苦しめられている。

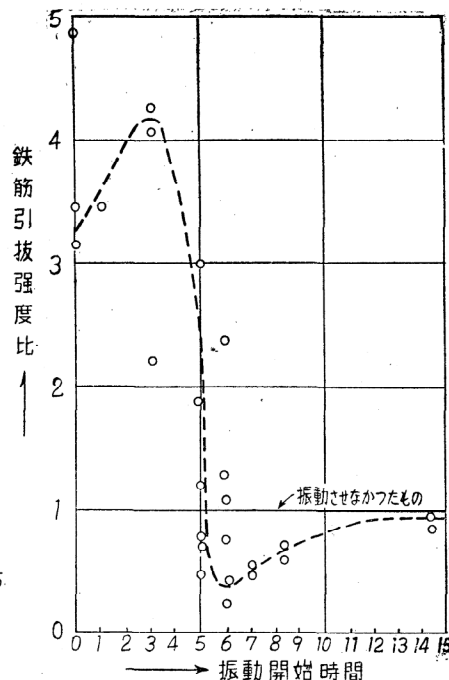
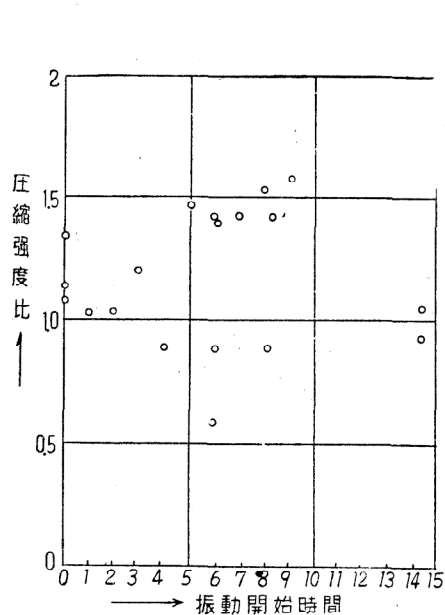
それだけではない、地盤振動を測定していたところ、偶然その横の川をポンポン船が通つたところその地盤がきれいな振動をはじめたのを捉えたことがある。その周期は焼玉エンジンの音の周期であつた。音必ずしも非力に非ず。両者の関係は再考を要する。音響が劇場の設計にのみ考慮される時代はすぎたと考えられる。

7. ゆれているコンクリートはつぎたせるか

工場の増築等によく起る問題である。鉄筋コンクリートの工場建物で現在作業をつづけ振動が発生している。これに増築する部分の鉄筋コンクリートを工場の作業を停止しないで接続し得るか否か。いままで幾度かこの種の相談をうけその返答に困つたのであるが、実験による検討を試み多少その返答の資料を得た。

振動は正弦波振動で、振動条件もその振動開始時間を変えるだけで、振動継続時間はいずれも6時間のものしか現在行つていないが、その結果は第4、5図の如きものである。即ち鉄筋引抜強度に対しては

1. 好影響の時期



第4図, 第5図

2. 悪影響の時期

3. 無影響の時期

の3つの時期がこの順序に存在する。1の時期は打終りより約6時間位の間で、これは寧ろ振動詰めに似た効果がありゆれている方が鉄筋引抜強度が3~4倍位強くなる。しかし、それをすぎると今度は逆に急に引抜程度が落ち、悪影響が現われる。これはおそらく固まりはじめの時機と見られるが、それは打終り後6時間付近である。その後は次第に悪影響が少くなり12時間もたてば大体無影響の時期となる。現場のコンクリートは大量であり、実験室のテストピースは少量なので反応時間は必ずしも同じとはみられないかもしれないが、この傾向を知るだけでも多少参考になると思われる。いずれにしても、コンクリートの圧縮程度には余り関係なく、鉄筋の付着力だけが著しく変化する模様である。しかし唯一連のケースだけであるので確定的なことは云えない。

8. 床版の性能判定

今までのものはどれも余り好ましくないものであるが、これは振動の積極的利用法の一つ。原理的には至極簡単であつて床版を一つの弾性体とみてその振動測定よりその性能を判定しようとするものである。その便利な点は微動計のみを持参すればよい点にある。即ち上下動ピツクアップを床版中央に置き人に軽くジャンプしてもらい、その落下による自由減衰振動を記録する。この測定は簡単で時間もかからないので床版を全部一つづつ測定してゆくことが出来る。その記録より得た振動数、減衰状況、波形よりして大体的見かけの弾性係数、亀裂の

存在等を知ろうというもので、床版の性能判定法としては今のところ、他のどの方法よりも簡便である。焼けビルを更生使用している内に表通りのトラックで特によく振動する床版を発見、調査の結果床が殆んど全部弱つていて、その床は中でも特に弱くなつていたというようなこともあつた。

時には梁が中に割つて入つて計算の出来難いものもあるが、正方形に近いものならば大体問題なく判定出来、特に同じ寸法、条件のものが沢山ある時には(例えばアパート等)便利である。またこれによつて、その測定値の揃い具合で請負業者の性能判定が出来るかもしれない。

9. 建物全体の性能判定

上の要領を上下動を水平動にかえて、建物全体の性能判定に及ぼすことも可能である。しかしこの場合簡便さは多少減少する。しかし今盛んに使用されている電気歪計では出ないような微小変形で充分実用になる点で有利である。建物全体が如何なる振動の仕方をしているかを実際に知ることは、現段階における理論計算の不備を補うものとみられる。耐震壁が実際に効いているのか否か、地震時の振動状況の予測、或いはもつと進んで破壊状況の予測（これは多少未だ無理かもしれないが）等に役立つと考えられる。建物が出来れば、その固有振動数を検査と同時に測つておくことは、何かの災害時に役に

立つと考えられるが殆んど実行されていない。

同じ趣旨で大切な機械は平常時振動測定をしておけば、あとで変調時等に役立つと思われる。それをもつと進めて、自ら測定器を備えて測定をつづけ、例えば蒸気タービンの軸受部に振動計が設置され、連続記録をとりその値が一定値をこえれば、ストツパーが動作して自動的にタービンの運転が停止されるようなものもある。ストツパーでなくてもディーゼル・エンジン等の製作会社は、製品の完成検査時、試運転台上で同条件で測定資料をとりつづけければ、必ず得る所があると思うのであるが、未だ行われていないようである。電鉄等もまたどこか地表面の一定点で全走行車輛の振動測定を継続的に行つておればこれも役にたつ資料を得ると思うのだが、これは更に行われそうにない。

TOPIC

コンクリートの非破壊試験

非破壊試験とは、材料あるいは構造物を破壊することなく、それらの性状について試験することをいうのであつて、例えば二次X線による金属の定量分析や、超音波による材料内部の探傷なども、そういった意味での非破壊試験といえる。つまり試験の方法が非破壊的であれば、試験の内容は何であつてもよいわけである。しかしコンクリートの場合、普通に非破壊試験といえば、今の所、強度推定のための試験を指すことが多いようである。

周知のごとく、コンクリートは普通の場合、セメント、骨材および水の三つの材料を、その都度現場で調合、混練して作るのであるが、その性質は施工の際の調合、練り混ぜの方法、あるいは練り混ぜた後の運搬、打込みおよび養生の方法といったものによつて大きく左右され、同一構造物についても、常に均質且つ無欠陥なコンクリートを得ることは甚だ困難である。従つてコンクリートの場合には、その耐力を、構造物そのものについて直接に調べることが他の材料の場合以上に望まれる。こうした事情を考えればコンクリートの非破壊試験に、強度を推定するためのものが多いのも当然であろう。

現在比較的良好に用いられている強度推定のための非破壊試験法は、機械的な方法と、音響的な方法とに大別される。機械的な方法（表面硬さ法ともいう）は、コンクリートに打撃を与え、その際の表面のクボミ直径あるいはハネカエリ強さなどを測定して強度を推定しようとするものである。この方法の代表的な装置として、“シユミットハンマー”がある。これはすでに市販されており、

装置が小型、軽量であり、取扱いも簡単であるため、現在最も広く使用されている。しかしこの種の方法は、試験の範囲が構造物の表層部に限られ、強度推定の精度も必ずしも満足すべきものとはいひ難い。

音響法（振動法ともいう）は大ざつばにいつて、共振法と音速法とに分けられる。共振法は構造物を強制的に共振させて動的弾性常数を測定し、これによつて強度を推定しようとするもの。音速法は、コンクリートに機械的な打撃を与えた際の縦波の伝播速度、あるいは超音波の衝撃波がコンクリート中を伝わるときの速度、つまり音速を測定して強度を推定しようとするものである。これらはいずれも陶磁器類、たとえば茶碗などを指先でハジいてその音色で茶碗の良否を調べると、原理的には全く同じものと考えて差支えない。しかし音響法は一般に前述の機械的方法よりも、理論的な根拠が比較的明確である上に、強度推定の精度の点においても優れている。特にこの種の方法の中で、最近研究途上にあるコンクリートの粘性々質も考慮に入れたものは、かなり期待できるのではないかとと思われる。

なお、音速法に用いられる超音波装置は、強度推定の他に、コンクリートの探傷、たとえばダムやトンネル内のキレツあるいは空隙などの発見にも利用することができ、現在最も利用範囲の広い非破壊試験装置であるといえる。

以上の他に、放射線による非破壊試験も当然可能であるが、今の所これについての詳しいことは分つていない。

何れにせよ、既設のコンクリート構造物のあらゆる性状が、非破壊試験によつて、簡単にしかも十分な精度で判定し得る日の来るのもそんなに遠い話ではないと思われ。

（工学部・小阪義雄）