

建築物の振動障害とその対策

大 築 志 夫⁽¹⁾

1. 振動障害

建築構造物は通常自重、積載荷重、雪、風また地震による力に対して耐力上安全で、かつ使用上障害のない様につくられる。しかし時々振動による障害のために充分その機能を発揮しえない事が起る。

建築物に於てはたとえその程度が小さくて強度上は全然危険のおそれのない程度のものであっても、居住者がそれを感じて不安に感じたり、不快を感じたりすれば、建築物としては矢張りその機能を果さないで障害と解されるし、また精密機械を扱う工場や、精密測定を行う研究室等で、人体に感じない程度の振度でもそれが上記の機械器具の性能発揮を妨げるならば、その建物は本来の機能を発揮するとは云えない。すなわちこれも障害である。

建築物の振動障害は、特に甚しい、明瞭な設計不良を除けば

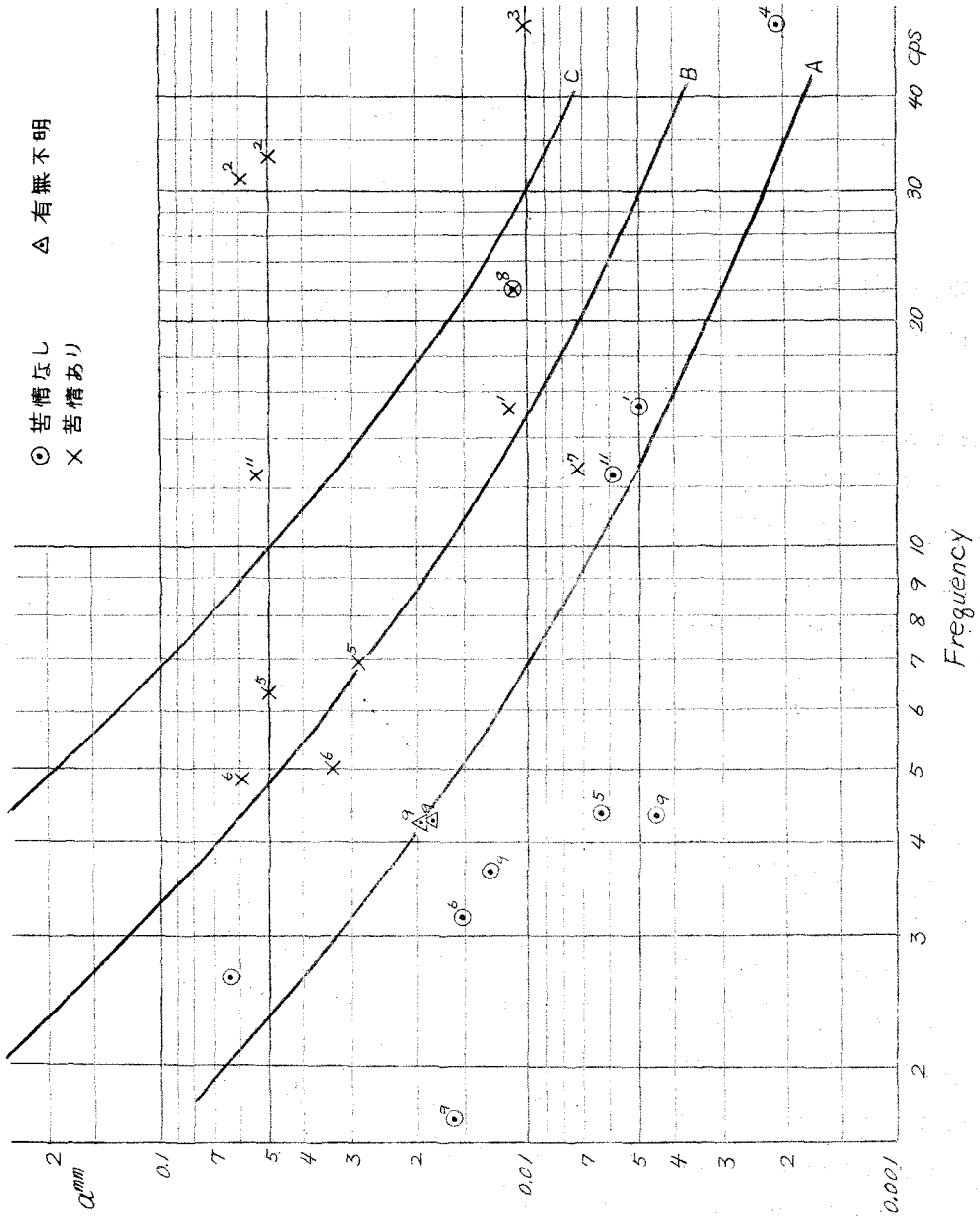
a, 人体に対する障害

b, 特定の機械等に対する障害

の2種にわけて考える事が出来る。

人体の振動感覚については夙に有名なMeisterの研究があり⁽²⁾、この有感限界曲線は筆者の調査した範囲ではその苦情の有無と照合して極めて実情に沿っていると思われる。有感限界と苦情限界との間には微妙な関係があつて、ある個人がその振動源に対して敵意をいだいているか否かによって差があり、敵意を懐いている場合は振動を感じれば苦情を云い、敵意のない場合には有感限度を少々超えても苦情が出ない。

特定の機械等に対する障害に関しては、上記の如き一定の限界はない。個々の機械や測器の構造性能によってその障害となる振動の性質は様々である。一般的には外部からの振動週期がそれらの構成部分の固有振動数に近い場合と、外部からの振動が衝撃性であつて、その構成部分の剛性が不充分である様な場合が特に目立つ程度である。時には μ -order以下の振幅をも問題とする事もあるが、共振部分がなければ実際には問題でなく、地盤そのもの



第 1 図

が絶えず μ -order で自然微動を行っていることを考慮すれば振幅だけで議論する事は無意味である。

2. 振動障害の原因

建築物に振動障害を起す原因は、

- a, 据付機械の発する振動によるもの。
- b, 近傍で杭打工事等を行うことによるもの
- c, 交通機関によるもの
- d, 建物内での人員の移動、物品の運搬等に依るもの

に区別する事が出来る。

数年前までは事務所、商店、銀行等の建物で設備機械、特にディーゼル発電機、空気調節用の圧縮機、送風機等による振動障害が頻々として見られたが、幸にして振動絶縁法（弾性支持法）の普及によってこの種の障害は今日では殆ど跡を絶つに至った。従って今日では据付機械による振動は主として工場に限定されつつある。

杭打工事や交通機関による振動は、地盤そのものを振動させることが原因であるために、今日の所建築の側では対策がないのが実情である。

建物内での人員、物品の移動運搬等による振動は端的に云って建物部分、主として床板、はり等の剛性の不足である。現在一般に行われている様な Stress を対象とする設計法の欠陥がここにあらわれたものと見做してよいであろう。今日の所、この種の障害は主に人体感覚に対する障害であり、従って多分に心理的要素を含んでいるために普遍的な規準値を見出す事が困難である。

3. 防振の一般論

今建物のある部分に振動障害が起っていると考えてみよう。先ず第1に考えるべきは何が原因かと云う事であろう。第2にはそれがどの様な経路を経てここに伝達されるかを追跡してみなければならない。

つまり、振動障害には必ず振動源がある。そしてその振動源によって問題の建物の一部が振動させられ、それが構造体を通じて問題の部分に障害のある程度に振動せしめるのである。

従って、一般的に云うと、振動源における振幅は問題の点における振幅よりも大きい筈である。

- これが逆の場合には必ずその経路に共振現象による増幅が行われている筈である。そこで、
- a, 何れの場合にも振動源の振幅を減じれば、末端における振幅も減じる。
 - b, 増幅が行われている場合には、この作用をなくなせば、その源にさかのぼらなくても障害を除く事が出来る場合がある。
 - c, ある特定の機械または測器等に障害を生じている場合は、この特定の機械または測器のみを周囲の振動から絶縁すればこの障害を除くことが出来る。
- いわゆる防振対策と云われるものは以上の3つの方法以上には出ないのである。

4. 機械振動の防止

振動を発する機械による振動障害の例は甚だ多い。その発生経路を辿ってみると、機械の発する加振力によってその基礎が振動させられる。通常機械の基礎は地盤または建築物の一部に直接接しているから、地盤または建築物の部分の、基礎に直接接している部分は機械基礎と同じ振幅で振動させられる。これが第2の振幅源となってそれが他へ伝播する。

そこで対策としては機械の基礎の振幅を、その振動の性質に応じて、第1図を参照して許容限界⁽⁴⁾まで引下げる様にすれば殆ど100%振動障害の問題は解決する。

基礎の振幅を小さくするためには、先ず第1には機械の加振力を出来るだけ小さくする事である。すなわち機械の不均衡力やモーメントを出来る限り小ならしめることが必要である。これが不可能な場合には基礎の設計を適切に行って基礎の振幅を減らさなければならない。

回転機械、往復機械等比較的定まった範囲の加振力の振動数をもつものにあつては、その加振力の振動数が略毎分400以上ならば、これを弾性支持する事によって殆どあらゆる場合計画通りに基礎の振動を減じる事が出来；建築設備機械等の場合には、建築物の側としては何等特別の基礎を作る必要すらない事が多い。振動絶縁に関してはすでに既刊の文献⁽³⁾があるからここには述べない。

低回転の機械、特に空気圧縮機等は上記の如き弾性支持による振動絶縁法は適用出来ないので、基礎の固有振動数を加振力の振動数に比して高くする様な設計を行って、振動を抑圧する方法をとるのが普通である。この様な振動数比に基いた設計を行うと、在来慣習的に用いられた単に基礎重量のみに基いた設計法によるよりも基礎重量は数分の一で済み、かつ振動障害を生じるおそれはない。振動数比に基く設計法に関しても既刊の文献⁽³⁾があるから詳述するのをさける。

機械の中で比較的厄介なのは、上記の様な定常振動を発するものでなく、落錘、パンチ、

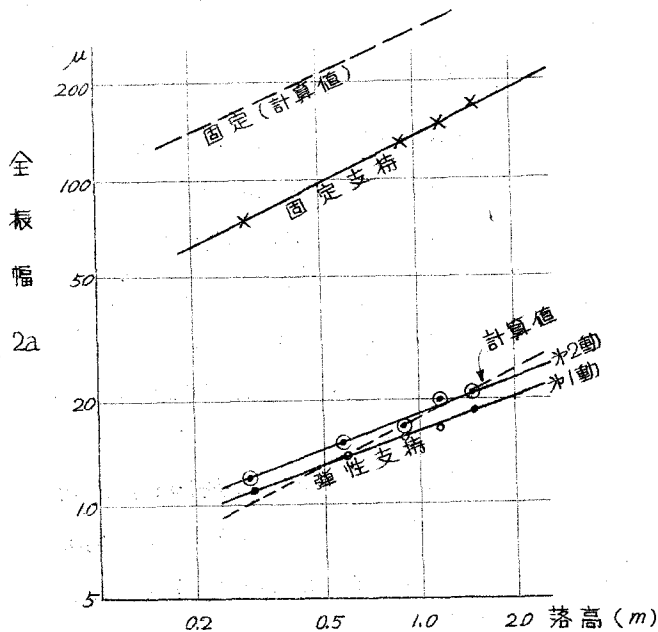
空気ハンマーの如き衝撃を發するものである。

構造物の性質として衝撃をあてられれば必ず固有振動が誘發される。そしてその振幅は衝撃の大きさに比例する。現状に於ては、鍛造機械による振動障害の發生率は甚だ高率であつて、しかもその殆どが野放しの状態である。

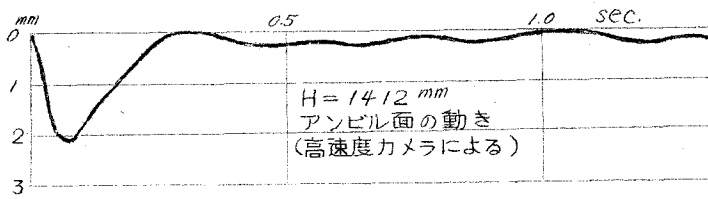
しかし、この場合も、その基礎を弾性支持する事によって直接地盤に接する基礎の振幅を小ならしめる事が可能であり、特にこれに近接する建物内の振動に着目する時は、衝撃を建物の振動周期に比して長週期の振動に変換する事によって建物にとっては衝撃作用がなくなるために確實に障害を除きうると思われる。

筆者は未だ不幸にして實際のこの種の基礎の設計施工の機には恵まれないが、次の様な模型落錘実験結果⁽³⁾を示しておく。

落錘重量 25 kg, アンビル重量 600 kg, 弾性支持基礎重量 2500 kg, 固定基礎 1250 kg, アンビルクッションのばね常数 $K_1 = 5.6 \times 10^5 \text{ kg/cm}$, 浮基礎支持ばねのばね常数 $K_2 = 243 \times 500 \text{ kg/cm}$, 地盤の等価ばね常数 $K_3 = 2.43 \times 10^4 \text{ kg/cm}$ (地盤係数 $k_v' = 30 \text{ kg/cm}^3$) として行つた実験結果を第2図に示した。第3図はこの時のアンビル面の沈下を示した。



第 2 図



第 3 図

5. 杭打や交通機関による振動の防止

杭打ちによる振動は地盤に直接振動をあたえるものであって、これを除くためには杭打ちをやめる以外に方法はない。振動を減じる方法としては杭の圧入、jet 工法、現物造杭、ピア工法等がある。

交通機関による振動は、車体の改良、軌条の良態保持、軌道床の研究等で未だ幾分改良しうるであろうが、建築物の側では確実な対策はなく、特定器械に対しての免震的の弾性支持が行われる程度である。しかし、無軌道車輛、すなわち自動車による振動に関しては、路面状態が特に重大な関係を有する事は極めて明瞭であって、平滑な路面で道床を堅く作れば、この面から自動車通行による振動障害は殆ど防止しうるのではないかと考えられる。

6. 床板、床ばりの振動

床板、床ばり等が外部からの振動源によってゆれる場合は4節によって処理しうが、一般に床構造の振動が問題になる場合は、人員の移動や物品の搬送に伴う衝撃荷重による床構造自体の固有振動の誘発が問題となる事が多い。

その振動が障害となるかならないかは、もち論第1図の不感域（A曲線よりFの領域）にあれば障害とはならぬことは勿論であるが、心理的影響が作用してはるかにこれ以上であっても障害を訴えない場合が非常に多いことが実用的限界をどの辺におくかを可成りむずかしい問題にしている。

たとえば木造の床構造は鉄筋コンクリート床に比して同一の衝撃に対してはるかに大きくゆれる。しかし木造床の場合にはゆれる事自身はそれ程不安を感じなく、むしろその振動数が人体頭部の固有振動数（毎秒4附近）に近付かない限り障害となる公算が少く、従って木造の床ばりの場合にはその固有振動数を毎秒10以上に保つ様に設計する事によって一応障害の発生を防ぐことに成功していると思われる。

所が鉄筋コンクリート床となると事情が全然こととなって来る。概括的にいって床板の固有振動数が30 cps 以上ならば苦情は皆無であるが、20 cps ~ 30 cps では床板のうすい場合には苦情のある事がある。この率は20 cps 以下では相当に増大する。しかし逆に10 cps 以下でも何等の苦情のない事もある。

原因が主として人間の歩行また走りがあるので、その衝撃の大きさにはおのずから限度がある。衝撃による振幅は、衝撃の大きさを $Q \text{ kg} \cdot \text{sec}$ とすると、

$$A_{\max} = \frac{Qg}{We\omega}$$

g = 重力の加速度 = 980 cm/sec^2

ω = 床板の固有円振動数 $1/\text{sec}$

We = 床板を質量のないばね系と考えた場合に実際の振動に等しい振幅をあたえる様な衝撃部の等価集中重量 kg

であたえられ、床構造の質量が大きな役割を演じる。人体感覚が $A_{\max}$ と ω との相互関係に関連するために以上の如き定性的の事は判っても未だこれを木造床の場合の如く定量化する段階には至っていない。

もう一つ床構造の振動障害に関連のある因子は減衰性の大小である。稀にしか起らない様な衝撃のために可成り強く感じる振動が誘発されても、それが短時間に不感域にまで収斂すれば障害にはならない場合が多い。この様な経験的事実からみて半減衰時間の如きものも相当関係があるらしい。

近來軽量鉄骨構造が流行し、軽量床構造の上にプレキャストコンクリート板やラスモルタル床板をおく事が多くなっていて、殆ど例外なく振動に頭を悩ます状態である。しかし同様の床構造でも、更にその上に木製床板をおくことにより居住者に木造床の感覚を与えて成功している例も多い。

以上の如く床構造の振動障害限界と、その真因、心理的因子、その対策に関しては、木造の場合を除いて未だ漸く検討の緒につこうとしている程度であって、未だその対策が設計の標準化されるには遠いと思われる。

7. むすび

建築構造物に発生しうる振動障害について概観し、その原因について検討した。

外部的原因の中で、機械等による振動は今日では殆ど完全にこれを予防し、また現存す

るものではその障害を除去しうるに至っているが、交通機関等により近接地盤に大振動を与えられる場合には対策はない。ただし、特定の器械等をこれらの振動からまもる事は充分可能である。これ等の防振方法は振動絶縁法と振動抑圧法とに区別されるが、その詳細については他書にゆずった。

最後に、建築構造物として最も関聯が深く、建築設計の一つの規準ともなるべき床構造に生じる振動障害の解明の現状についてのべ、この方面の研究が未だ殆ど進んでいないことを明らかにした。

註 1. 清水建設株式会社研究部勤務

2. H. J. Meister ; Forshung, 1935

3. 例えば第86回振動講習会教材, 1956, 日本機学会, 第4篇。

4. 許容限界は理想的には第1図 A 曲線である。実用的には B 曲線位が適當であろう。従って設計規準値としては A B の中間位をとるのがよいと思われる。