

金沢大学工学部 正会員 小堀 為雄
 福井工業大学 正会員 梶川 康男

1 ま え が き

振動が人体に及ぼす影響については40年ほど前から多くの研究が、工学・医学・心理学の立場から交通・建築・労働衛生などの分野において行われた。そして、近年、振動の影響が広範囲になり頻繁かつ増大し、一種の公害問題を起している。一方、加振装置の開発や測定技術の発達等により、増々、詳細な研究が行われている。その結果、ISO(国際標準化機構)においては、振動の感覚レスポンスの統一を計るべく報告がなされ、また日本においては音響学会により、公害としての振動測定を統一する目的で人体の感覚に合わせた公害用振動レベル計の規格化が行われた。このような背景にもかかわらず、橋梁の振動を考える場合、つぎに示すいくつかの理由により従来の研究成果をそのまま適用することには疑問が生ずる。

- 1) 振動を受ける姿勢が橋梁上では、従来の研究において全く行われていない歩行位であること。
- 2) 橋梁の振動は振幅が規則正しい正弦振動ではなく、不規則な振動であり、しかも隣接した優勢な数個の位周波数成分(6 Hz以下)をもつこと。
- 3) 多くの研究が評価尺度として適当と考えられる振動の心理的大きさに言及していないこと。
- 4) 橋梁の振動は比較的小さな振動であること。

以上の理由により、橋梁振動を考えるには歩行位で位周波数領域で、しかも小振幅振動を対象として、これらの影響を考える必要がある。

2 振動の生理的影響

生体は外部からの刺激に対して安定した状態を保持しようとする働きがある。人体の場合、意欲に無関係に反応する器官を自動的に調整する神経系ならち交感神経の機能が振動刺激を受けると昇進し、その結果として呼吸器・循環器・消化器などに様々な反応が生ずる。また尿中成分やホルモンの変化という内分泌系の反応、せき柱の異常、聴器や音声に及ぼす影響などが考えられる。表-1にはこれらの症状と生じやすい振動数を示した。また、岡田¹⁾はこれらの症状の発現と振動加速度の関係を図-1のように示し、約0.1g以下では有意な影響が報告されていなりとのべている。しかし、これ以下の振動によって生理的影響がないというわけではなく、小さい振動での研究が欠けていることに原因があることも強調している。

3 人体の動的応答

人体も振動体であり固有の振動数を有し、外部からの振動がそれに近ければ共振現象を起す。ところが人体は複雑な組織であるために各臓器はそれぞれ固有振動数を持ち、それらは生理的反応や主観的反応と密接な関係にある。また、共振点とともに人体における振動の伝播が重要である。これは、振動を受ける人体の姿勢と振動の方向によって大きく変わる。われわれも立位の場合の頭部・臀部・膝曲位位の腕部に小型加速度計をつけて測定した。その結果を図2

交感神経系	心血管系-最高血圧の上昇、最低血圧の低下 脈搏数増加、体温上昇、発汗、搏血量減少 皮膚電位抵抗低下、末梢血管収縮(6) 呼吸器系-換気量増大(3~6)、呼吸困難(1~3) 消化器系-胃腸収縮増加、胃下垂(4~5)
内分泌系	副腎皮質ホルモンの減少、副腎アスコルビンの減少 尿中成分(17-KS, 17-OHCS)の減少、月経異常
脊 柱	一様曲率変形、胸腰椎の後弯(4)、側弯
聴 器	一過性聴力損失(5)
その他	吐き気、発声(10)、眼圧の上昇、知覚閾の低下 胃下垂、血尿、体重の減少、脂肪含有量の減少 酸素消費量増加、エネルギー効率増加

表-1 振動による各症状

()内の数字は症状の生じやすい振動数

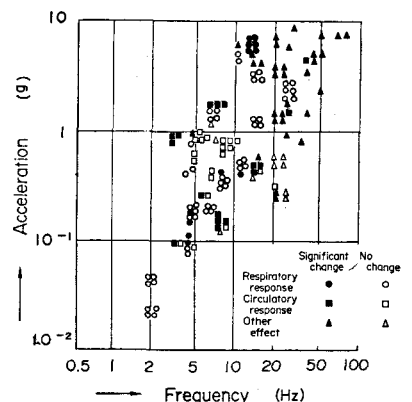


図-1 全身振動の人体機能に及ぼす影響¹⁾

に示す。これらは振動の知覚を考えるうえで重要なことである。すなわち、音は耳で聴くが振動の知覚は全身に分布している受容器官によって行われる。これらが刺激を受けることによって振動感覚が生ずるのであり姿勢により、伝播が異なるために振動感覚も異なったものになることは容易に予想される。特に、図-2に示した膝曲げ位は歩行位に類似しており、橋梁の振動を考える場合に高い振動数成分の振動はあまり上体に伝達されず、振動感が脚部に集中していることと一致している。

4 心理的反応

音響の分野では音の大きさに関して、「フォン」や「ソン」という評価尺度（図-3参照）が用いられている。この尺度は計量心理学的手法を用いて構成されたものである。一方、振動に対しても三輪ら²⁾によって「VGL」や「VG」³⁾という尺度が提案されている。しかし、この尺度は20 Hzを基準にして0.5~300 Hzの広範囲にわたって行われたために橋梁振動への適用は疑い。そこで、われわれは弛緩した立位³⁾・歩行位における振動の大きさを求める実験（3 Hzを基準に1~10 Hz）を心理学的手法を用いて求めた。その結果、音の場合と同様な尺度を構成することができた。（図-4参照）

1) 振動の物理量として変位振幅 a (cm)、円固有振動数 ω (rad/sec) を考えるとき、振動の刺激 S はつぎのように定義できる。[a はR.M.S.値とする]

$$S = \left\{ \sum_{i=1}^n (a_i \omega_i^m)^2 \right\}^{1/2} \quad \text{.....(1)} \quad \text{ここに、指数 } m \text{ は歩行位で } 1.0, \text{ 立位で } 1.4 \text{ であり } m \text{ は成分振動数の数である。}$$

2) 「フォン」と同様な「振動の大きさのレベル VGL」は次式で定義される。

$$VGL = 20 \log_{10} S / S_0 \quad \text{.....(2)} \quad \text{ここに、基準値 } S_0 \text{ は歩行位で } 1.4 \times 10^{-2} \text{ cm/sec, 立位で } 4.2 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}^{1.4} \text{ である。}$$

3) 「ソン」と同様な「振動の大きさ VG」は次式で表わされる。

$$VGL \leq 40 \text{ dBでは, } \log_{10} VG = 0.05 (VGL - 40) \quad \text{.....(3)}$$

$$VGL > 40 \text{ dBでは, } \log_{10} VG = 0.03 (VGL - 40) \quad \text{.....(4)}$$

4) 弛緩した立位・歩行位における振動耐限度は図-5のようにになる。そこで、道路橋において頻繁に載荷が予想される20トン車の通過に伴って生ずる振動に対して快適な使用状態に保つためには、歩みにくくなく不快でないようにしなければならぬ。それには振動の大きさ VG を1.1以下にあるのが望ましい。この耐限度はイギリス(B.S.)の振動制限と同程度の大きさと考えられる。

5 あとがき

以上、橋梁の振動が人体に及ぼす影響についてのべた。前述したように、この種の研究はまだ欠けた部分が多く今後の研究を待たねばならぬ。しかし、長大橋において現われるであろう1 Hz以下の振動や水平振動による影響を考えることは急務である。これらについても現在検討中であり後日報告したい。

— 参考文献 —

- 1) 岡田晃；全身振動による影響・障害，労働科学 41巻1号，1965
- 2) 三輪・米川；振動の評価法，日本音響学会誌 27巻1号，1971
- 3) 小堀・梶川；道路橋の振動とその振動感覚，土木学会論文報告集第222号，1974

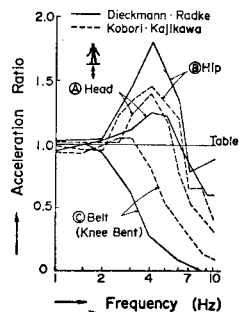


図-2 人体の伝達率

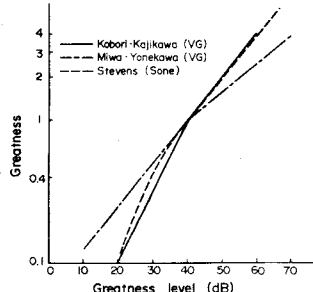


図-3 振動の大きさと「ソン」

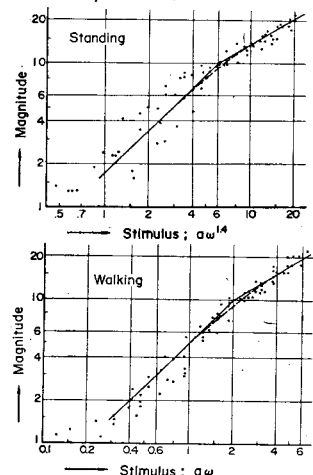


図-4 振動刺激とマグニチュード

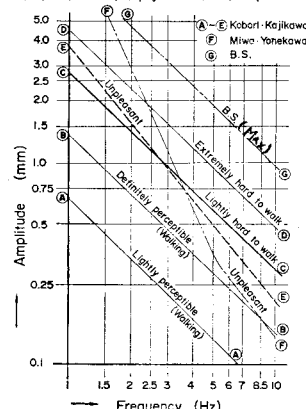


図-5 振動耐限度