

金沢大学工学部 正会員 梶川 康 男

1 ま え が き

構造物の設計は終局限界状態と使用限界状態とを対象とした限界状態設計法が主流となる傾向にある。終局限界状態としては全体的な破壊による構造物の崩壊に関連するような最大耐荷力に相当する状態と考えられている。一方、使用限界状態としては一般に正常な使用状態または耐久性に関する必要条件を満たさなくなる状態と言われており、たわみ・変形・変位、振動、ひびわれ、損傷などが考えられている。図-1にはそれらの限界状態の発生確率を考えて、その概略を示した。ところが、終局・使用の両限界にはっきり区別できないものもある。例えば、Fail-Safe構造にしたものの部分的な破壊や永久変形などはどちらにも属すると考えることができる。この図のように終局限界状態として考えられるものの多くは塑性領域に属し、しかも破壊・非破壊の判断が明確なものが多く理解しやすい。ところが、使用限界状態として考えられているもののほとんどは弾性領域に属しており、しかも破壊というような明確な判断基準のないものである。ここで、コンクリートのひびわれを考えてみると、引張応力が生じない状態、引張応力は許されるがひびわれは許されない状態、ひびわれ幅がある値に達する状態などと何段階にも分けて、CEB-FIPでは考えている。同様に、たわみ・変形・変位、振動、損傷についても、その限界状態を設定するにはいろいろな意味での“人間的”な判断を要する部分が多いために、広範囲の観点からの判断が必要であるし、また、そのような判断ができる余地を残しておきたいものだと日頃考えている。そして、使用性という概念は安全性と同じように重要なものであり、その対象範囲は非常に広いものであることを強調したい。

2 振動限界状態

ここで、振動について考えてみると、その限界状態は振動が過大で正常な状態で使用できないか、あるいは人心に不安の念を抱かせるようになる状態であるとされている。正常な使用状態というのも非常に曖昧であるが、一般の道路橋において自動車荷重の走行時に引き起こされる橋梁の振動によって、その走行性が低下するということはよほどの低剛性の橋梁以外考えられない。ところが、吊橋の風による振動が大きくなれば自動車の運転は困難であろうし、鉄道橋では脱線の可能性も生じてこよう。また、通行荷重によって起こる振動が過大で不安の念を抱くことは特に徒歩で橋を渡る歩行者に生ずるであろう。これに対する設計基準を設ける必要があるわけであり、BSにおいては歩道橋と道路橋の振動照査がすでに義務づけられている。ところが、橋梁上での振動感覚が加速度に依存するのか、速度に依存するのかが未だ問題になっているが、歩行者の姿勢や動きなどから考えて振動速度が最もよく感覚に対応するものと思われる。図-2に示した最近の構造物振動の人間への影響に関する研究を見てみると、速度依存の形のものが多い。しかも、その許容限度が同程度のレベルに集まってきており、筆者の提案したものの²⁾も、その中に入っている。ただし、BSは最大応答値を対象としているので上位に位置している。ここで、これらを参考にして新しい評価基準を提案する。

3 橋梁振動のわずらわしさ

従来、振動感の程度を「感じる」や「不快」、「歩きにくい」などと表現してきたが、不快・歩きにくいなどという表

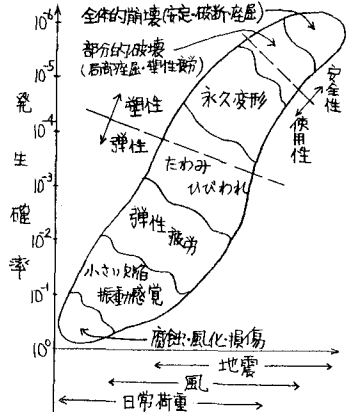


図-1 限界状態の発生確率と荷重レベル

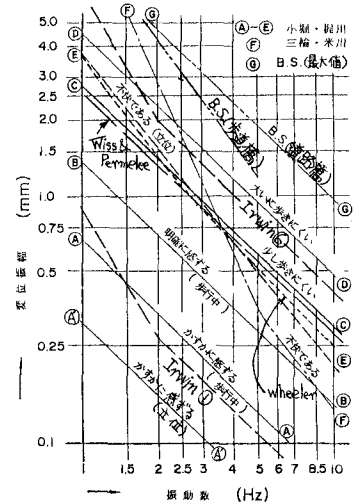


図-2 構造物の振動と許容限度

現はやや曖昧であり、これらを総合的に表現するものとして、「わずらわしさ(Annoyance)」を考えることにする。その「わずらわしさ」の程度を表わす心理量の単位をAbとし、振動速度の実効値を mm/sec 単位で表わしたものとす。刺激の小さい範囲では振動刺激と心理量が比例することから、このAbは近似的に比例尺度とみなすことのできる。すなわち、このAbが2倍であれば振動の心理的大きさも2倍に感じられるという尺度である。

4 橋梁振動の使用性基準試案

橋梁の振動使用性を照査する場合、立体横断施設技術基準では橋面に約1/6mの歩行者を考え、その最大応答加速度が0.1gを越えないことが推奨されている。この照査荷重が橋梁によっては大きすぎることや、その評価対象として加速度を用いていることについてはやや疑問がある。そこで、本文ではまず地震の震度階と同様に橋梁振動階(Ⅰ)を考える。まず、振動階Ⅰの範囲を $2^{-1} \sim 2^{+1}$ (わずらわしさAb数ならびに振動速度値 mm/sec)であるとする。このように定義することによって表-1に示したように、筆者の実験結果をよく表現し、また震度階の人間の心理的な記述内容とも一致している。この振動階とわずらわしさの程度から橋梁振動を評価し、揺れない橋と揺れる橋に区分し、振動階に合わせて6つのランクに分類した。さて、どのような荷重状態に対して、この使用性基準を適用するか？ BSでは単独の歩行者あるいは単一の走行自動車(20t)による振動照査を行い、その最大応答が図-2に示した値を越えないように規定されている。また、Wheeler⁹⁾もやはり単独の歩行者を考えている。交通量の少ない場合には、これらの規定は有効であり、わが国でも郊外にある側道橋や道路橋において適用できるものと思われる。筆者がかねてより提案しているように、歩道橋では2Hzの歩調をもつ歩行者が通行したときの応答量が 4 mm/sec 以下であり、しかも歩行者の歩調が橋梁の固有振動数(必ずしも2Hzとは限らない)に一致したときの応答量が 8 mm/sec 以下であれば、また道路橋では単一走行自動車(20t)による応答が 16 mm/sec 以下であれば、その使用性は満足できるものであろう。これらは表-1の使用性基準の橋梁振動階Ⅰまでにその振動を制えることを提案している。ところが、日本の都市内での実状はその混雑さから考えて、このまま適用するわけにはいかない。複数の荷重が載荷する可能性とその応答を求める必要がある。そこで、筆者は多くの荷重が載荷される場合を対象に、確率論的な考察からの評価を提案してきた⁵⁾。その考え方が妥当なものであることは確かであるが、具体性に欠けるきらいがある。現在、その具体的な評価法と確率論的な評価法とのキャリブレーションを行っており、荷重の到着数と表-1の使用性基準との対応などについて今後考えて行きたい。

参考文献 ① J.E. Wheeler: Pedestrian-Induced Vibrations in Footbridges, Main Road Dept. Techn. Report No.15, Western Australia, 1979. ② 小堀規利: 道路橋の振動と人の振動感覚, 土論集222号; 橋梁振動の人間工学的評価法, 土論集230号, 1974. ③ 小堀規利: 振動感覚と歩道橋の設計, 工学誌, 1974. ④ 小堀規利: 歩道橋に対する道路橋の震害, 土論集248号, 1976. ⑤ 小堀規利: 歩道橋の設計と歩道橋の使用性に関する確率論的考察, 土論集266号, 1977; 振動感覚と歩道橋の確率論的考察, 土論集283号, 1977.

