

I-295

長大橋梁の振動に対する人間感覚

京都大学大学院 学生員 三澤 彰 京都大学工学部 正 員 松本 勝
京都大学工学部 正 員 白石成人 京都大学工学部 正 員 白土博通
熊谷組 正 員 泉 千年 京都大学大学院 学生員 築山有二
本州四国連絡橋公団 正 員 福井幸夫

1. まえがき 構造物の安全性と使用性を考えた場合、終局限界状態および使用限界状態の2つの限界状態が定義される。いずれも構造物の正常な機能に支障をきたすが、前者が破壊に対して最もクリティカルであるために、後者はどちらかといえば二次的な扱いを受けてきた。しかし、可撓性にとんだ長大橋梁や超高層ビルの出現により、構造物の振動が人間に与える精神的あるいは生理的な影響の評価が必要となる場合も生じる。そこで長大橋梁の振動実験例を通じて使用性評価法について考察を行った。

2. 振動実験例をもとにした使用性の評価 従来の研究は比較的短時間で、振動数は1Hz以上、振幅は1cm以下の橋梁を対象としたものが多い。¹⁾ 長大橋梁を対象とした場合、その固有振動数が1Hz以下、振幅もかなり大きくなることを考慮すれば、従来の研究の成果がそのまま適用できるかは疑問である。そこで本州四国連絡橋の尾道—今治ルートの大島大橋（支間長560m）を起振機によって振動させ、橋梁上の歩行時および静止時の振動感覚に対するアンケート調査（試験1a～1d）および鉛直振動発生装置（トラックを改造）による振動感覚のアンケート調査（試験2a～2c）を行った。被験者は付近の住民から100名を選んだ。試験1a～1dおよび試験2a～2cの振動数および振幅を表1に示す。（性別、年齢による人員の構成および回答項目は表2を参照）アンケートの集計結果例を表2に示す。

集計結果をもとに解析を試みた。試験1において「歩行時と静止時のどちらの方がより振動を感じるか」という問い（試験1a）に対して、女性は静止時に感じる人の方が幾分多い。男性は「同じくらい」と答えた人あるいは無回答の人が半数近いため、「静止時と歩行時のどちらがより振動を感じるか」は判断し難い。

また、同時に被験者が船酔現象（motion sickness）にかかりやすいかどうかの調査も行った。その結果、男性の方が、かなり酔いにくいと思われ、このことはISO²⁾の報告とも一致している。この傾向が性別・年齢による振動感覚の違いに影響を及ぼすと思われたが、試験1および試験2において得られた結果によれば、このような影響はほとんど見られず、性別・年齢の違いによる振動感覚に著しい違いは見られなかった。

集計結果によれば試験2においては振動数が0.6Hz以上になると振幅にはほとんど依存せずに回答の分布傾向が一致してくることから、今回の鉛直振動試験の範囲（振動数：0.2～1.0Hz、振幅：1.0～10.0cm）においては被験者は振幅よりも振動数に対して強く反応するものと思われる。

また、実橋と振動台による振動試験との対応を考えるために、試験1a（振幅：4.4cm、振動数：0.186Hz、加速度：0.006G）と試験2b（振幅：5cm、振動数：

表1. 試験時の振動数および振幅

試験	実験モード	振動数(Hz)	振幅
1 a	曲げ逆対称1次	0.186	4.4cm
1 b	曲げ対称2次	0.323	31.6cm
1 c	曲げ逆対称3次	0.703	7.5cm
1 d	ねじれ逆対称1次	0.736	0.27

試験	振動数(Hz)	振幅(cm)
2 a (1)	0.2	1
(2)	0.4	1
(3)	0.6	1
(4)	0.8	1
(5)	1.0	1
2 b (1)	0.2	5
(2)	0.4	5
(3)	0.6	5
(4)	0.8	5
(5)	1.0	5
2 c (1)	0.2	10
(2)	0.4	10
(3)	0.6	10
(4)	0.8	10
(5)	1.0	10
(6)	1.25	10

0.2Hz、加速度：0.008G）というかなりよく

似た刺激で評定率を比較した。試験1aで「少し感じる」が82%であるのに対し、試験2bの方は41%とかなり少ない。また、「はつきり感じる」についても、試験1aが18%であるのに対して、試験2bは 0%となっている。これは試験1aが実橋の曲げ逆対称 1次振動で、だいたい試験2bと同じ鉛直振動であることを考慮すれば、実橋の方がかなり振動を敏感にキャッチしている。このように、実橋上での振動試験である試験1 と鉛直振動発生装置を用いた試験2 を比較した場合、実橋上の方が振動を強く感じる（あるいは不快に感じる）結果となったが、この原因としては振動被曝時間の影響が考えられる。ISO²⁾ では、低振動数領域においては「たいへん不快」の閾値を考えた場合、 $a^2 t = m$ （ a ：加速度、 t ：被験時間、 m ：定数）なる関係が成り立つことを報告しているが、本試験においても $a^2 t$ の値を個々のケースで求め、試験1 と

試験2 の対応性について調べた。その結果、よく対応しているケースも見られたが、振動被曝時間だけでは説明のできないケースも見られた。被験者の意見を参考にすると、振動数、振幅、振動被曝時間以外の影響因子として、橋梁の振動の与える視覚的な影響、あるいは不安感などがあると思われる。また「酔いやすい」人は「気分が悪い」と回答する人が多く、「酔いにくい」人は「気分が悪い」と回答する人は少なかったことから「酔い」に対する心理的および先天的な影響が振動感覚に及ぼす影響も大きいものと思われる。

試験2 の「はつきり感じる」に対する評定率を3次元図形で表現したものが図1である。これにより「はつきり感じる」人の割合に対応した振動範囲が推定される。従来の研究によれば¹⁾ 振動感覚は $a \omega^m = \text{const.}$ の形で表せるが、図1から今回の試験では「はつきり感じる」は $m=6$ 程度になり、先の結果にも見られるようにきわめて振動数に対する依存性が大きいものと思われる。

3. 結論 振動実験例を通じて低振動数・大振幅の振動（振動数：0.2～1.0Hz 振幅：1.0～10.0cm）に対して人間の振動感覚は、振動数に対する依存性がきわめて高いことがわかった。また、振動被曝時間による影響もかなりあるものと思われるが、さらに視覚的な影響あるいは酔いに対する心理的・先天的な影響もかなり大きいものと思われる。また、女性の場合、実橋の振動に対しては「静止時」の方を強く感じる人が幾分多い。実橋および振動台による試験においては、性別や年齢による顕著な違いは見られなかった。

参考文献

- 1) 梶川康男 “道路橋の振動とその橋梁の使用性に与える影響に関する研究” 京都大学工学博士論文 昭和54年8月
- 2) INTERNATIONAL STANDARD ISO 2631-1978/ADDENDUM 2 “Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration” 1982-5-1

表2. アンケート集計結果例

静止したままで振動を												
年 齢	5-15		16-25		26-35		36-50		51-		小 計	計
性 別	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	
感じない	3	1	0	4	2	2	3	0	3	0	11	7
少し感じる	9	5	4	4	7	6	7	8	7	7	34	30
はつきり感じる	0	5	2	2	2	2	0	2	0	3	4	14
はつきり感じ気分が悪い	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
耐えられない	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小 計	12	11	6	10	11	10	10	10	10	10	49	51
計	23		16		21		20		20		100	

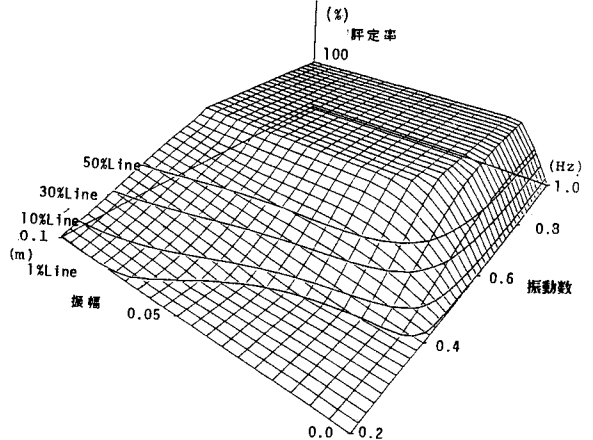


図1. 「はつきり感じる」に対する評定率