

I-61

歩道橋の振動限度に関する実験的研究

北海道大学工学部 正 員 小幡 卓司
 北海道大学工学部 学生員 窪田 公二
 北海道大学工学部 正 員 林川 俊郎
 北海道大学工学部 正 員 佐藤 浩一
 北海道大学工学部 正 員 及川 昭夫

1. ま え が き

公共構造物の設計を行う際に、考慮すべき項目として、安全性、経済性等が挙げられるが、その中で合目的性が極めて重要な意味を持つと考えられている¹⁾。一般に、公共構造物は人間の生活水準を改善するために建設されるものであるから、合目的性の追求は設計において中心となる重要な課題であろう。

従来の構造物の設計法で、中心的に取り扱われているものは、主に強度に基づく安全性である²⁾。近年、これらの設計法は、旧来の許容応力度設計法から限界状態設計法に移行しつつあるが、その定量的解析法の大半は依然として安全性中心であり、設計の対象となる構造物の利便性や景観等の環境との調和に言及あるいは定量的手法を導入した例は、極めて少ないと思われる。強度の十分な確認によって構造物が長期間その機能を発揮し得ることを考えれば、安全性の追求がその構造物の合目的性の検討から著しく逸脱しているとは言えないが、社会基盤が整備されつつある今日では、安全性の追求のみの設計では次第に不十分になりつつあると思われる。

特に歩道橋の設計を考えた場合、直接人間が歩いたり立ち止まったりする歩道橋の性格上、その使用に際しての快適性、すなわち振動使用性は非常に重要な設計項目の一つである。歩道橋の振動使用性は、およそ20年前に問題提起され、我が国のみならず各国で多くの研究がなされており、その結果として、照査の対象となる構造物の動的応答量を求め、解析結果と振動許容量（以下、限度と称す）を比較する、いわば限界状態設計法的な手法が主に提案されている。しかしながらこれらの研究の多くは、使用性の評価手法については比較的よく検討されているものの、限度そのものに関して実験あるいは解析を試みた研究は意外と少なく、特に歩道橋あるいは道路橋に用いる目的で行われた研究は、著者らの知る限りでは小堀・梶川の研究と、Blanchard らの研究のみである。また、限度の研究の大半は、ある振動感覚の閾値（反応が生起する確率が50%の値）³⁾を求めたものであり、これをそのまま限度として用いた場合、設計者が歩道橋の立地条件等を考慮して、その使用性を柔軟に判定することは極めて困難であると思われる。

以上より、著者らは人間の振動感覚に着目し、文献4において延べ1700回以上にのぼる人体に対する強制加振実験を実施してフェジィ推論を用いた解析を行い、他の研究との比較検討を通じて、歩道橋の動的応答量が振動速度の実効値で約0.7cm/sec程度以下であれば、使用性に関してほとんど問題なく、また実効値で約1.0cm/sec程度でも利用者に不快感、不安感を与えることは極めて少ないと思われる結果を得た。

本研究では、上記で得られた結果について更に詳細な検討を加えるため、振動速度の実効値で $V_{RMS}=0.42\text{cm/sec} \sim 1.13\text{cm/sec}$ ($V_{MAX}=0.6\text{cm/sec} \sim 1.6\text{cm/sec}$) の範囲について、およそ700回の振動感覚実験を行い、歩道橋の設計時における使用性評価に用いるための限度を明らかにすることを試みた。したがって本研究はこれらの結果を報告するものである。

2. 体 感 振 動 実 験

2-1. 実 験 方 法

本研究で用いた実験方法は基本的には文献4で行った実験方法と同様に、歩道橋を想定した橋長 $L=12\text{m}$ の機械式鉛直振動台を用いて行った。今回の実験では前述のとおり、歩道橋の使用限界状態について詳細な検討を加えるため振動速度の実効値で $V_{RMS}=0.42\text{cm/sec} \sim 1.13\text{cm/sec}$ (最大値で $V_{MAX}=0.6\text{cm/sec} \sim 1.6\text{cm/sec}$) の範囲について振動台上を歩行する被験者に対し振動感覚および歩道橋としての適、不適を判定するアンケート調査を実施した。なお、本研究では特に断らない限り振動速度の値は実効値で表現することとする。振幅および振動数の組み合わせは表-1に示すような27ケースである。アンケート調査方法についても前回同様、計量心理学における系列カテゴリー法を採用したが、今回は同時に歩道橋として適当であるかを判定し、その理由として振動感覚のカテゴリーを選択する方法を用いている。表-2に本研究で用いたカテゴリー選択肢を示す。

Experimental Study of Vibration Serviceability Limit State on Pedestrian Bridges

by Takashi Obata, Kouji Kubota, Toshiro Hayashikawa, Koichi Sato and Akio Oikawa

なお、文献4の実験終了後に行った歩道橋の振動に關する意識調査から“歩きにくい”場合と“不快感を感じる”場合のカテゴリー判断基準に有意な差が生じる傾向が認められたため、本研究では両者を厳密に区別し“不快感、不安感を感じないが歩きにくい”と“大きく振動を感じ、不快感、不安感を感じる”の2つのカテゴリーを用意した。また被験者については、前回の実験において橋梁振動についての予備知識が実験結果に影響を与える傾向が認められたため、本実験では土木工学についてほとんど予備知識を持たない北海道大学教養部、ならびに水産学部2年生に依頼した。年齢については全員が20歳前後であり、また性別は1名を除いて男性である。

具体的な実験方法は、屋外に設置した振動台を所定の振動速度でランダムに加振して被験者を1名ずつ歩行させ、その際の振動がどの程度であるかを表-2の中から選択し、記録用紙に記入することとした。実験中は、桁上にサーボ型変位計を設置してパソコンで振動波形および振動数を常時監視し、被験者の歩行中所定の振動刺激を与えるよう細心の注意を払った。また、前述のとおり今回の被験者は土木工学に関する知識がほぼ皆無に近いため、実験前にミーティングを行い実験の目的、実験方法等について十分な説明を加えて趣旨の徹底を図った。また実験は3回にわたって行われ、それぞれの被験者は1回目10名、2回目6名、3回目10名である。

2-2. 実験結果

実験結果は、被験者の各種振動刺激に対する振動感覚カテゴリーの度数分布表を集計し、これに基づいて各振動速度における各カテゴリーの百分率を計算することにより各振動感覚における感覚量を得ることとした。表-3にその結果を示す。なお、本研究では、“少し振動を感じる”等の人間の反応を振動感覚と称し、振動感覚における25%、50%といった反応の生起する確立を感覚量と称することとする。表-3から振幅 1.0mmの場合が他の振幅に比較して大きな反応を示していることがわかる。よって振幅 1.0mmの場合は別途の考察を加え、閾値等の算出には除外して考えることとする。これらの結果から“少し振動を感じる”および“明らかに振動を感じる”場合の25%~75%の感覚量を計算し、最小2乗法を用いてそれぞれの等値線を求めた。なお、等値線については参考のため文献4の実験結果も加味した計算も合わせて行った。図-1および図-2に“少し振動を感じる”場合と“明らかに振動を感じる”場合の感覚値の比較図を示す。

小堀、梶川の研究^{5)・6)}によれば、図-1,2の等値線の振幅と振動数の関係式を以下のように与えている。

$$\log_{10} a = -m \log_{10} \omega + B \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 a : 振動の変位振幅 (片振幅) ω : 円振動数
m、b : 実験で求められる定数

式(1)の係数mは、等しい感覚を生じさせている刺激に振動数がどの程度関係するかを示す指標であり、感覚量等値線の傾きを示している。表-4に図-1,2における閾値の等値線の係数mを示す。これらの実験結果より以下のことがわかる。

表-1 振動刺激

V_{rms} (V_{max})	0.42cm/s (0.60)	0.57cm/s (0.80)	0.71cm/s (1.00)	0.85cm/s (1.20)	0.99cm/s (1.40)	1.13cm/s (1.60)
振	0.5mm 1.91Hz	2.55Hz 1.28Hz	3.18Hz 1.59Hz	3.82Hz 1.91Hz	4.46Hz 2.23Hz	5.09Hz 2.55Hz
幅	1.5mm 0.64Hz	0.85Hz 0.85Hz	1.06Hz 0.80Hz	1.27Hz 0.96Hz	1.49Hz 1.12Hz	1.70Hz 1.27Hz
3.0mm	—	—	0.53Hz	0.64Hz	0.74Hz	0.85Hz

表-2 カテゴリー選択肢

この橋を毎日渡るとき
○歩道橋として適当である。 — その理由として — ① 振動を感じない。 ② 多少振動を感じる程度である。 ③ 明らかに振動を感じるが、特に問題ない程度である。
○歩道橋として不適当である。 — その理由として — ④ 不快感、不安感を感じないが、歩きづらい。 ⑤ 大きく振動を感じ、不快感、不安感を感じる。 ⑥ 歩道橋の振動としては、信じられないほど大きい。

表-3 実験結果集計表 (単位: %)

V_{rms} (cm/s) (V_{max})	0.42 (0.60)	0.57 (0.80)	0.71 (1.00)	0.85 (1.20)	0.99 (1.40)	1.13 (1.60)
全	少し感じる 38.5	42.3	52.3	70.8	75.4	82.3
	明らかに感じる 9.0	14.4	22.3	33.8	50.8	60.8
	不適当である 1.3	4.8	7.7	13.1	27.7	40.8
部	不快である 1.3	1.9	1.5	2.3	9.2	13.8
1st	少し感じる 28.8	29.5	44.2	64.4	72.1	79.8
除	明らかに感じる 5.8	6.4	17.3	23.1	42.3	52.9
	不適当である 1.9	3.8	3.8	6.7	17.3	29.8
く	不快である 1.9	1.3	1.0	1.0	3.8	7.7
1st	少し感じる 57.7	80.8	84.6	96.2	88.5	92.3
の	明らかに感じる 15.4	38.5	42.3	76.9	84.6	92.3
	不適当である 0.0	7.7	23.1	38.5	69.2	84.6
み	不快である 0.0	3.8	3.8	7.7	30.8	38.5

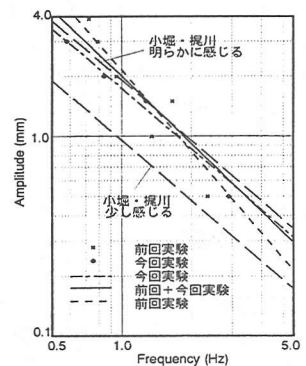


図-1 少し振動を感じる

まず、“少し振動を感じる場合”の等値線の傾きに注目すると、係数 m は今回の実験のみの場合と、今回に前回の実験を加えて計算を行った場合のいずれも25%~75%の範囲でほぼ1.0程度になることが確認された。これは小堀、梶川の実験結果とほぼ一致する結果である。また振動速度で考えると本研究の“少し振動を感じる”閾値は0.778cm/sec ($V_{max}=1.1$ m/sec)となり、小堀、梶川の“明らかに振動を感じる”閾値($V_{max}=1.2$ m/sec)にほぼ等しい値となっており、他の研究と比較してやや鈍重な結果が得られている。この理由としては前回同様桁振動によって被験者に振動刺激を与えているため、桁通過時に与える刺激の総量が他の研究に比較してかなり小さいためと考えられる。“明らかに振動を感じる”場合に関しては、本実験結果は前回の実験に比してかなり鋭敏な反応を示している。この原因の1つとして今回の実験における刺激の最大値が他の研究と比較してかなり小さいことが上げられる。一般に人間は記憶する動物であり、一度大きい刺激、あるいは長時間刺激を受け続けると次第に慣れが生じて刺激に対する反応が鈍くなったり、カテゴリー判断基準が変化したりする傾向があるため、刺激の最大値が小さい場合にはこのような反応の鈍化や、カテゴリー判断基準の変化が生じにくく、よって前回の実験よりも大きな反応を示していると思われる。加えて“明らかに振動を感じる”カテゴリーそのものが曖昧で、“少し振動を感じる”場合と“明らかに振動を感じる”場合の境界が判然としないため被験者の経験や刺激の大小等の理由により結果が左右されやすいためと考えられる。

次に表-4から式(1)の係数 m に着目すると、本実験結果は $m=0.8\sim1.1$ 程度となり、小堀、梶川の実験結果にほぼ一致することがわかる。前回の実験結果を加えて計算を行った場合についても、“少し振動を感じる”場合で、 $m=0.9\sim1.26$ 程度、“明らかに振動を感じる”場合で $m=0.71\sim0.88$ 程度である。したがってこれらの結果は、小堀、梶川の研究と同様に人間に振動感覚を生じさせる刺激としては振動感覚が妥当であることを示している。

また今回の実験結果において振幅が1.0mmの場合は、他の振幅の場合と比較して非常に大きな反応が得られた。前述のとおり本研究では、実験は3回にわたって行ったが3回とも同様な傾向が認められる。この原因としては振動数が考えられる。すなわち振幅1.0mmの実験6ケースについて、いわゆる2Hz前後(1.5Hz~2.3Hz)⁷⁾の振動数に含まれる、あるいは近傍(2.55Hz)のものが4ケースあり、特に1.91Hz(0.85cm/sec)以上の場合、歩道橋として不適当と答える人の割合が急激に増大する傾向を有している。表-4を用いて比較すると、振幅1.0mmの場合0.71cm/sec(1.59Hz)で不適当と答える人が25%以下なのにに対し、0.85cm/sec(1.91Hz)の場合では約40%、さらに0.99cm/sec(2.23Hz)では約70%の人が不適当と答えている。振幅が1.0mm以外の場合では、振動速度が1.13cm/secの場合でも歩道橋として不適と判断した人が最大でも30%程度である。以上より現行の基準にもあるように依然として2Hz前後の振動数には十分な注意が必要ながわかる。

さらに、図-3は歩道橋として不適当であると答えた人の確率である。図-3から、0.85cm/sec付近を境界として不適当と答える確率が急激に増加することがわかる。

これらの結果から、振動数で2Hz前後の場合では0.7cm/sec程度で約25%、0.85cm/sec程度で約40%の人が歩

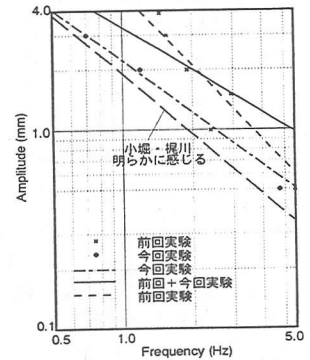


図-2 明らかに振動を感じる

表-4 係数表

	少し振動を感じる			
	前回実験	今回実験	今回+前回	小堀、梶川 (歩行位)
25%	1.0948	—	1.0394	—
40%	1.8477	1.1092	1.2561	—
50%	1.3478 (0.9174)	1.0035	1.1182	1.0
60%	1.6632	1.0720	1.0098	—
75%	1.5299	0.8440	0.8917	—
	明らかに振動を感じる			
	前回実験	今回実験	今回+前回	小堀、梶川 (歩行位)
25%	1.4643	0.9010	0.8330	—
40%	1.4347	0.9106	0.7958	—
50%	1.2306	0.8669	0.7096	1.0
60%	1.5556	0.7899	0.8815	—
75%	1.2687	—	—	—

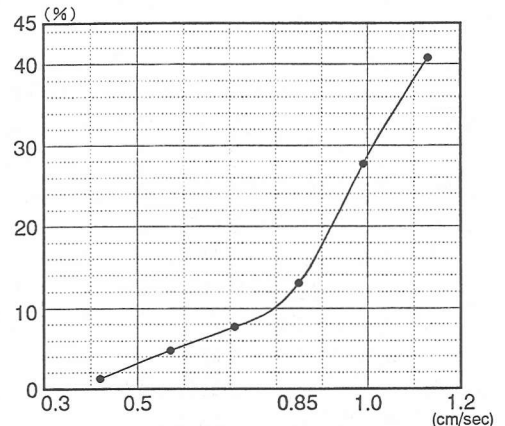


図-3 歩道橋として不適当と答えた人の確率

道橋の振動として不適当と答えること、0.85cm/sec程度から不適当と答える人が急激に増加すること等を考慮すれば、歩道橋の振動限度としておよそ 0.7cm/sec ($V_{MAX}=1.0\text{cm/sec}$) 程度以下であれば、2 Hz前後の固有振動数を有する歩道橋においても、その使用性に問題が生じる可能性は極めて少ないと推定できる。

3. 解析ならびにその結果

本研究では、歩道橋の振動として適、不適を判定したアンケート調査結果と、振動感覚およびその感覚量との関係を明確にするため“少し振動を感じる”および“明らかに振動を感じる”場合に関して本実験結果ならびに、参考のため文献4における実験結果を加えた直接法によるファジィ推論を用いた解析を実施した。推論規則に関しては、著者らの従来の研究を参考として、振幅および振動数を前件部、振動感覚を後件部とした以下のような推論規則を用いることとした。

規則例：もし振動が大きくて振動数が高ければ不快感を感じる
IF x is A and y is F THEN z is S
ここで、A：振幅のファジィ集合 F：振動数のファジィ集合
S：振動感覚のファジィ集合

メンバーシップ関数に関しても、従来通り一般的な三角形型メンバーシップ関数を用い、前件部の台集合については、人間の振動感覚における刺激と感覚の関係が対数関係にあることを考慮⁵⁾して対数座標を用いている⁶⁾。また本研究では、実際の実験値との解の整合性を考慮して振動感覚のメンバーシップ関数について若干の調整を行った。図-4に今回用いたメンバーシップ関数を、表-5に規則表を示す。

具体的な解析に際しては、実験結果より式(1)の係数mがほぼ1.0であることから、解析結果は振動速度で表現することとした。解析対象の感覚量等値線に関しては、“少し振動を感じる”場合については25%、40%、50%、60%、75%とし、また“明らかに振動を感じる”場合は、今回の実験において被験者に与えた刺激量が比較的小さく、感覚量が50%程度までしか得られなかったため、25%、40%、50%について解析を行った。これらの結果を図-5および図-6に示す。これらの図には最小2乗法によって得られた閾値と、小堀・梶川の限度を併記した。

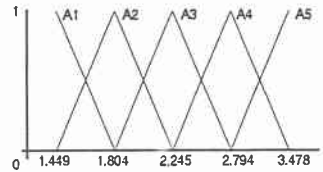
また表-6は実験、最小2乗法ならびにファジィ推論で得られた振動速度と感覚量の関係である。なお最小2乗法における速度値は1.0Hz～5.0Hzの平均値を示してある。

以上より、“少し振動を感じる”場合と“明らかに振動を感じる”場合のファジィ推論による解析結果と最小2乗法による結果を実効速度で比較すれば、“少し振動を感じる”場合の60%以上の結果に多少大きめの差がでているものの、最大でもその差は0.3cm/sec程度であり、ファジィ推論による解析値は実験結果に対して比較的良好な近似を与えていると思われる。

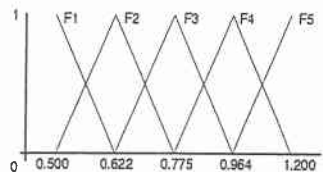
4. 振動限度に関する考察

以上の結果を用いて歩道橋における振動許容量、すなわち振動限度の検討を試みる。

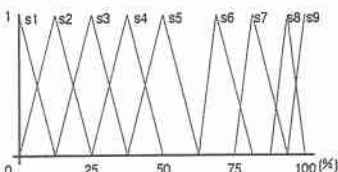
まず、人間に振動感覚を生じさせる刺激のパラメータとしては式(1)の係数mがほぼ1.0程度となることから、小堀・梶川の研究と同様に振動速度が妥当であると思われる。



(a) 振幅のメンバーシップ関数



(b) 振動数のメンバーシップ関数



(c) 振動感覚のメンバーシップ関数

図-4 メンバーシップ関数
表-5 規則表

	A1	A2	A3	A4	A5
F1	S1	S2	S3	S4	S5
F2	S2	S3	S4	S5	S6
F3	S3	S4	S5	S6	S7
F4	S4	S5	S6	S7	S8
F5	S5	S6	S7	S8	S9

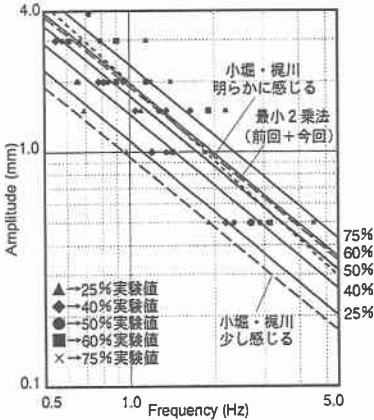


図-5 少し振動を感じる

次に実験結果から、ある振動刺激に対して歩道橋の振動として不適当であるとする人の確率は、0.7cm/sec ($V_{MAX}=1.0$ cm/sec) 程度までは比較的緩やかな増加にとどまっているが、0.85cm/sec ($V_{MAX}=1.2$ cm/sec) 程度から急激に増大する傾向が認められる。特に2Hz前後（振幅1.0mmの場合の実験結果）に着目すると、0.71cm/secでおよそ23%、0.85cm/secで39%の人が不適当と判定した。本研究の被験者は、前述のとおりほぼ全員が20歳前後の男性であり、振動刺激に対する反応はやや鈍重ではあるが、全体的な反応の傾向としては他の研究とほぼ同等であることから、不特定多数の歩道橋利用者においても上記の傾向を有するだろうことが推定できる。さらに、2Hz前後の振動数では、他の振動数の場合に比して非常に大きな反応を生じることが実験結果から確認され、したがって現行の基準にもあるとおり、2Hz前後の固有振動数を有する歩道橋については十分な注意が必要であると考えられる。

以上より歩道橋の振動許限度について検討を加えると、歩道橋の低次の固有振動数が2Hz前後の場合、あるいは立地条件等の理由により使用性の向上が必要な場合は、その振動許限度として振動速度の実効値で0.7cm/sec程度以下にすることが望ましいと思われる。0.7cm/secにおける感覚量は解析結果より、およそ50%の人が少し振動を感じ、20%程度の人が明らかに振動を感じる振動量である。一方、歩道橋の固有振動数が2Hz前後にならない場合、あるいは多少振動を許容しても良いような場合については、実験結果より1.0cm/secでも不適当と答える人が30%以下であり、また2Hz前後を除けば20%以下となることから、この程度でも十分な使用性を確保することが可能であると考えられる。1.0cm/secの際の感覚量は、約70%の人が少し振動を感じ、40%程度の人が明らかに振動を感じる感覚量である。

加えて、文献9では歩道橋の減衰定数を0.5%とした場合の振動速度と死荷重強度の関係式が以下の様に表されている。

$$V_E = 1.36/D_m + 0.137 \dots \dots (2)$$

ここで V_E : 振動速度の実効値 (cm/sec)

D_m : 歩道橋の死荷重強度 (tf/m)

すなわち、式(2)を用いて評価を行えば、0.7cm/secに対しては2.42tf/m、1.0cm/secの場合は1.58tf/mとなる。したがって、設計時において死荷重が概ね2.5tf/m以上となる歩道橋に関しては使用性に問題が生じる可能性はほとんど無いと考えられる。表-7にこれらの結果と歩道橋の振動使用性に関して提案されている各種の照査方法の比較表を示す。

5. あとがき

以上のように本研究は、人間の振動感覚についての実験と解析を通じて、歩道橋の振動使用性照査に用いる許限度について検討を加えたものである。

実験結果からは、まず人間の振動感覚のパラメータとして振動速度が妥当であると思われる結果が得られた。また、ある振動刺激に対して歩道橋の振動として不適当であるとする人の確率は振動速度の実効値で $V_{RMS}=0.7$ cm/sec ($V_{MAX}=1.0$ cm/sec) 程度までは比較的緩やかに増加するが、 $V_{RMS}=0.85$ cm/sec ($V_{MAX}=1.2$ cm/sec) 程

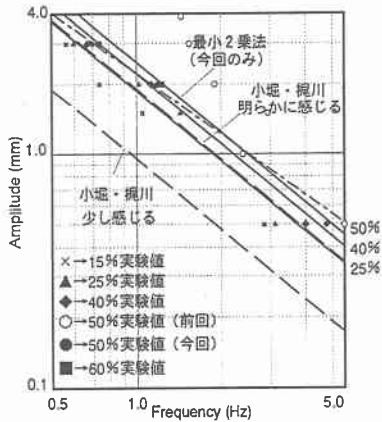


図-6 明らかに振動を感じる

表-6 振動速度と感覚量

(a) 実験結果

振動速度	少し振動を感じる		明らかに振動を感じる	
$V_{RMS}(V_{MAX})$ cm/s	全結果	1mm除く	全結果	1mm除く
0.42 (0.60)	38.5%	28.8%	9.0%	5.8%
0.57 (0.80)	42.3%	29.5%	14.4%	6.4%
0.71 (1.00)	52.3%	44.2%	22.3%	17.3%
0.85 (1.20)	70.8%	64.4%	33.8%	23.1%
0.99 (1.40)	75.4%	72.1%	50.8%	42.3%
1.13 (1.60)	82.3%	79.8%	60.8%	52.9%

(b) 解析結果（少し振動を感じる）

振動速度 ファジィ推論	最小2乗法 (今回実験のみ)	最小2乗法 (今回+前回実験)	感覚量
$V_{RMS}(V_{MAX})$ cm/s	$V_{RMS}(V_{MAX})$ cm/s	$V_{RMS}(V_{MAX})$ cm/s	
0.494 (0.699)	—	0.518 (0.733)	25%
0.643 (0.909)	0.672 (0.950)	0.589 (0.833)	40%
0.772 (1.092)	0.770 (1.089)	0.794 (1.123)	50%
0.876 (1.238)	0.735 (1.039)	0.986 (1.394)	60%
1.050 (1.485)	1.127 (1.594)	1.312 (1.855)	75%

(c) 解析結果（明らかに振動を感じる）

振動速度 ファジィ推論	最小2乗法 (今回実験のみ)		感覚量
$V_{RMS}(V_{MAX})$ cm/s	$V_{RMS}(V_{MAX})$ cm/s	m	
0.832 (1.176)	0.946 (1.338)	-0.9010	25%
0.973 (1.376)	1.025 (1.450)	-0.9106	40%
1.110 (1.570)	1.129 (1.597)	-0.8669	50%

表-7 各種振動使用性照査法比較表

照 査 方 法		荷 重 状 態	単 位	振 動 許 容 値	振 動 感 覚
Leonard		多 数 の 歩 行 者	cm/s ²	34	—
小堀・梶川・城戸		最 頻 歩 調 1 人	cm/s (RMS)	0.42	少 し 振 動 を 感 じ る 閾 値
BS5400, Blanchard		共 振 歩 調 1 人	cm/s ²	0.5 f ^{0.8}	—
Wheeler		最 頻、共 振 歩 調 1 人	cm/s (MAX)	2.40	少 し 歩 き に く い 閾 値
松本ら		1 人 / 秒 / m	cm/s ²	98	—
梶川・小堀		単 独 歩 行 状 態	cm/s (RMS)	1.7	少 し 歩 き に く い 閾 値
		群 衆 裁 可 状 態	cm/s (RMS)	1.7	—
		単 独 走 行 状 態	cm/s (RMS)	2.7	大 い に 歩 き に く い 閾 値
田中・加藤		共 振 歩 行 1 人	cm/s (RMS)	0.85	明 ら か に 振 動 を 感 じ る 閾 値
本 研 究	2 Hz 前 後	共 振 歩 行 1 人	cm/s (RMS)	0.7	少 し 振 動 を 感 じ る 約 50 % 値
	使 用 性 重 視				明 ら か に 振 動 を 感 じ る 約 20 % 値
	2 Hz 前 後 以 外 多 少 振 動 を 許 容		cm/s (RMS)	1.0	少 し 振 動 を 感 じ る 約 70 % 値 明 ら か に 振 動 を 感 じ る 約 40 % 値

度から急激に増大する傾向が認められる。また、実験結果についてファジィ推論を用いた解析を実施し、“少し振動を感じる”および“明らかに振動を感じる”場合について振動速度と感覚量の関係を明らかにした。

以上を踏まえて、歩道橋の振動限度について検討を行った結果、歩道橋の固有振動数が2 Hz前後または立地条件等の理由で使用性の向上が必要な場合は、その振動限度として $V_{RMS}=0.7\text{cm/sec}$ ($V_{MAX}=1.0\text{cm/sec}$)程度、また固有振動数が2 Hz前後にならない場合、あるいは多少の振動を許容するような場合については、 $V_{RMS}=1.0\text{cm/sec}$ ($V_{MAX}=1.4\text{cm/sec}$)程度でも十分な使用性を確保できると考えられる。さらにこれらの結果から、設計時において死荷重が概ね 2.5tf/m 以上となる歩道橋に関しては使用性に問題が生じる可能性は極めて少ないことが判明した。

しかしながら、これらの結果は人間に対する強制加振実験の結果のみに基づいているため、今後実橋において以上の結果を検証する必要があると思われる。

最後に、実験に参加していただいた北海道大学教養部ならびに水産学部2年生の諸氏に対し、ここに記して深い謝意を表する次第である。

【参 考 文 献】

- 1) 村上永一：土木構造物の設計とは何か，土木学会誌，57巻7号，pp.3～6，1972.
- 2) 西脇威夫：歩道橋における振動感覚の数量化と設計への応用，土木学会論文報告集第257号，pp.1～12，1977.
- 3) 田中良久：心理学的測定法，東京大学出版会，1971.
- 4) 小幡卓司・林川俊郎・佐藤浩一：歩道橋の通行時における振動感覚について，構造工学論文集 Vol.40A，pp.685～692，1994
- 5) 小堀為雄・梶川康男：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，pp.15～23，1974.
- 6) 小堀為雄・梶川康男：橋梁振動の人間工学的評価法，土木学会論文報告集第230号，pp.23～31，1974.
- 7) 日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説，丸善，1979.
- 8) 小幡卓司・林川俊郎・桑島正樹：歩道橋の振動使用性に関する一考察，構造工学論文集 Vol.39A，pp.793～799，1993.
- 9) 田中信治・加藤雅史：桁形式歩道橋の設計時振動使用性照査手法の提案，構造工学論文集 Vol.40A，pp.693～702，1994.