

非共振歩行時にも適用できる単純桁歩道橋 の設計用使用性評価式

米田昌弘

正会員 工博 近畿大学助教授 理工学部土木工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1)

設計段階で歩道橋の使用性を検討する場合、歩行者による最大変位や最大速度を容易に算定できる田中・加藤の簡易算定法が多く利用されている。しかしながら、この簡易算定法の推定精度は歩道橋の構造対数減衰率 δ_1 に依存し、たとえ $\delta_1 = 0.05$ であっても設計にとって危険側の結果（最大で 12%程度）を与えることが判明した。また、最近では、非共振歩調（共振歩調から数%程度相違した歩調）に対する解析結果が歩行試験結果と比較的良く一致するとの報告もなされているが、当然のことながら、田中・加藤の簡易算定法では非共振歩調時における動的応答量を推定できない。そこで、本文では、構造対数減衰率が $\delta_1 = 0.01 \sim 0.10$ の歩道橋上を共振・非共振歩行する際の動的応答量を推定できる簡易式を提案し、その有用性を検討した。

*Key Words : pedestrian bridge, dynamic response characteristics, vibration serviceability
dynamic response analysis*

1. まえがき

歩道橋の使用性評価を目的とした動的応答解析はすでに多数実施されており、多種多様化した現在の歩道橋では、動的応答解析によって使用性を評価する手法も実施されるようになっている¹⁾。しかしながら、実務設計にあたっては歩行者による最大変位や最大速度が推定されれば十分であり、振動工学の知識を必要とする動的応答解析は、実務技術者にとって現在でも難解な検討方法であると認識されている。このようなことから、田中・加藤²⁾は、歩道橋を単純桁歩道橋に限定するとともに、単純桁歩道橋の 1 次固有周期に合わせて歩行者が共振歩行するなどの幾つかの条件を設け、歩行者による最大応答変位 y_{\max} を求める、設計上の簡易式を与えた。この簡易算定法は、歩行者による最大応答変位を容易に推定できることから、現在、歩道橋の使用性を論じる上で重要な評価式となっている。

しかしながら、田中・加藤の簡易算定法では、最大応答変位の推定値から、速度応答の実効値を算定する場合、やや曖昧さが残っている。すなわち、歩調に対応する円振動数を ω とした場合、速度応答の実効値は理論的に $0.707\omega y_{\max}$ と算定すべきであるが、田中・加藤は、共振歩行試験結果との整合性など実

務レベルでの経験も加味し、 $0.286\omega y_{\max}$ （一人の歩行者が歩道橋を渡り始めてから渡り終わるまでに感じる平均的な速度応答）を用いて算定している。これに対し、著者は、共振歩行試験のように被験者が意図的に共振歩行を試みても実際の歩調は微妙に変化して完全な共振歩行を実現できないことを指摘するとともに、共振歩調から数%程度相違させた場合（非共振歩調時）の動的応答解析結果が共振歩行試験結果と比較的良く一致することを報告している³⁾。それゆえ、歩道橋の使用性をより厳密に論ずる場合、今後は歩調変化を考慮した検討も重要になると予想されるが、田中・加藤の簡易算定法では、当然のことながら、このような非共振歩調時については適用できない。さらに、支間長が 40m 程度の単純桁歩道橋では構造対数減衰率 δ_1 が $\delta_1 < 0.05$ の場合も報告されているが²⁾、本文中に提示したように、田中・加藤の簡易算定法では推定精度が歩道橋の構造対数減衰率 δ_1 に依存し、たとえ $\delta_1 = 0.05$ であっても設計にとって危険側の結果（最大で 12%程度）を与えることも判明した。

以上に述べたことから、本文では、構造対数減衰率が $\delta_1 = 0.01 \sim 0.10$ の歩道橋上を共振・非共振歩行する際の動的応答量を推定できる簡易手法を提案し、その有用性を検討した。

2. 従来の算定方法

(1) 解析解を用いる算定方法

歩行者の体重（質量）は歩道橋の質量に比べて非常に小さいことから、歩行者の体重で歩道橋が静的に変形する量は無視しても差し支えない。すなわち、歩行外力としては、歩行にともなう衝撃力（歩行衝撃力）のみを考えれば十分である。わが国では、歩行衝撃力のモデル化として、正負の周期的な歩行外力を考慮する梶川の方法⁴⁾や小幡・林川ら⁵⁾が提唱する方法（余弦波における負の部分の荷重を除外する方法）が一般に利用されている。後者の方法は数値積分法を前提としたモデル化で解析解の算定も困難であることから、本研究では、歩行者による歩行外力 $F(t)$ として次式で表示される梶川の方法を仮定することとした。

$$F(t) = F_0 \sin \omega t = \alpha W \sin \omega t \quad (1)$$

ここに、 ω は歩調に対応する円振動数、 F_0 は歩行外力の最大値で、歩行者の体重に衝撃力比と呼ばれる係数 α を乗すれば算定できる。なお、係数 α （衝撃力比）は、歩行速度 v によって図-1に示すように変化することが知られている⁴⁾。

単純桁形式の歩道橋では、振動工学の基礎理論を適用すれば、固有振動数や固有振動モードを容易に算出できる。したがって、歩行者が単純桁形式の歩道橋を一定の歩調で通行し、その歩行外力が式(1)で表示できる場合、歩道橋の変位応答や速度応答はやはり複雑であるが以下に示す解析解を用いて算定できる。すなわち、時刻 $t=0$ で歩道橋が静止している場合、速度 v で移動する歩行者によって誘起される歩道橋の変位応答（動的変位） y は、 ℓ を支間長、 q_n を n 次振動の一般座標、 $\Phi_n(x)$ を n 次の振動モードとすれば、次式で算定できる。

$$y = \sum_n q_n(t) \Phi_n(x) = \sum_n q_n \sin \frac{n\pi x}{\ell} \quad (2)$$

ここに、一般座標 q_n は、 ω_n を n 次の固有円振動数、 h_n を n 次振動モードの減衰定数とすれば、

$$q_n = \frac{F_0}{2M_n} e^{-h_n \omega_n t} (C_1 \cos \omega_{dn} t + C_2 \sin \omega_{dn} t) + \gamma_{np} \sin(\Omega_p t - \varphi_{np}) + \gamma_{nm} \sin(\Omega_m t - \varphi_{nm}) \quad (3)$$

ただし、

$$\omega_{dn} = \sqrt{1 - h_n^2} \omega_n \quad (4)$$

$$\Omega_p = \frac{n\pi v}{\ell} + \omega \quad (5)$$

$$\Omega_m = \frac{n\pi v}{\ell} - \omega \quad (6)$$

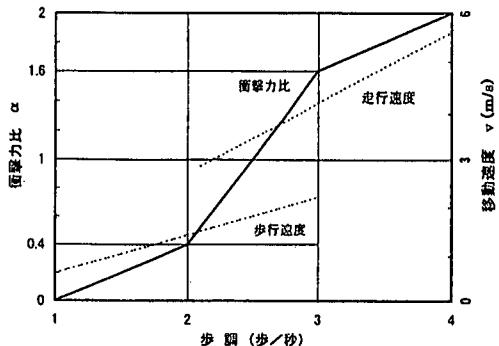


図-1 衝撃力比と移動速度

$$\gamma_{np} = \frac{1}{\sqrt{(\omega_n^2 - \Omega_p^2)^2 + 4h_n^2 \omega_n^2 \Omega_p^2}} \quad (7)$$

$$\gamma_{nm} = \frac{1}{\sqrt{(\omega_n^2 - \Omega_m^2)^2 + 4h_n^2 \omega_n^2 \Omega_m^2}} \quad (8)$$

$$\phi_{np} = \tan^{-1} \left(\frac{2h_n \omega_n \Omega_p}{\omega_n^2 - \Omega_p^2} \right) \quad (9)$$

$$\phi_{nm} = \tan^{-1} \left(\frac{2h_n \omega_n \Omega_m}{\omega_n^2 - \Omega_m^2} \right) \quad (10)$$

$$C_1 = \gamma_{np} \sin \phi_{np} + \gamma_{nm} \sin \phi_{nm} \quad (11)$$

$$C_2 = (h_n \omega_n C_1 - (\gamma_{np} \Omega_p \cos \phi_{np} + \gamma_{nm} \Omega_m \cos \phi_{nm})) / \omega_{dn} \quad (12)$$

一方、速度応答 \dot{y} は、式(3)を一回微分して得られる

$$\dot{q}_n = \frac{F_0}{2M_n} \left\{ e^{-h_n \omega_n t} (-C_1 h_n \omega_n \cos \omega_{dn} t - C_1 \omega_{dn} \sin \omega_{dn} t - C_2 h_n \omega_n \sin \omega_{dn} t + C_2 \omega_{dn} \cos \omega_{dn} t) + \gamma_{np} \Omega_p \cos(\Omega_p t - \varphi_{np}) + \gamma_{nm} \Omega_m \cos(\Omega_m t - \varphi_{nm}) \right\} \quad (13)$$

を次式に代入すれば算出できる。

$$\dot{y} = \sum_n \dot{q}_n(t) \Phi_n(x) = \sum_n \dot{q}_n \sin \frac{n\pi x}{\ell} \quad (14)$$

(2) 田中・加藤の簡易算定法

前節の解析解を用いて、歩道橋の最大変位や最大速度を求めようとした場合、算定式があまりにも煩雑なことから、卓上計算機では簡単に計算できない。このようなことから、田中・加藤²⁾は、

- ① 対象とする歩道橋は単純桁形式に限定する。
- ② 鉛直たわみの1次振動のみに着目する ($n=1$)。
- ③ 着目点は支間中央に限定する ($x = \ell/2$)。
- ④ 歩行者は歩道橋の1次固有周期に合わせて歩行する ($\omega = \omega_1$)。

という条件を設け、歩行者による最大応答変位 y_{max} を求める、設計上の簡易式を次のように与えた。

$$y_{max} = \frac{1}{M} \frac{2F_0}{\sqrt{(\omega_1^2 - \Omega_m^2)^2 + 4h_1^2 \omega_1^2 \Omega_m^2}} \quad (15)$$

表-1 単純桁歩道橋の構造諸元

名 称	支間長 ℓ	重 量 w	断面 2 次モー メント I	固有振動数 f_1	$\omega_1 \times \ell / v_r$
Bridge-200	23.07 m	2.452 kN/m (0.250 tf/m)	0.001 m ⁴	2.679 Hz	200
Bridge-350	39.22 m	9.708 kN/m (0.990 tf/m)	0.020 m ⁴	2.083 Hz	350
Bridge-500	53.55 m	9.806 kN/m (1.000 tf/m)	0.040 m ⁴	1.572 Hz	500

表-2 補正係数 $f(x_p)$ の簡易評価式

$\omega_1 \times \ell / v_r$	対数減衰率	$f(x_p) = ax_p^3 + bx_p^2 + cx_p + d$							
		-0.050 ≤ $x_p \le -0.02$				-0.02 ≤ $x_p \le 0$			
		a	b	c	d	a	b	c	d
200	$\delta_1 = 0.01$	-19820	-2082.1	-36.552	2.5893	25536	-2721	-112.15	1.6918
	$\delta_1 = 0.03$	-19675	-2303.2	-63.553	1.7188	18532	-1693.1	-83.631	1.3769
	$\delta_1 = 0.05$	-18232	-2249.6	-72.431	1.2442	20723	-920.3	-63.155	1.2073
	$\delta_1 = 0.10$	-9405.2	-1338.1	-52.25	0.9404	11720	-256.7	-34.144	1.0386
350	$\delta_1 = 0.01$	-26809	-1691.5	14.575	2.8768	-186141	-12044	-195.06	1.5459
	$\delta_1 = 0.03$	-32605	-2725.2	-43.433	1.7751	-46034	-5242.3	-117.41	1.1923
	$\delta_1 = 0.05$	-32532	-2974.8	-67.081	1.1962	-1709.4	-2332.3	-74.402	1.0650
	$\delta_1 = 0.10$	-13447	-1372.3	-38.067	1.0012	16785	-263.79	-28.546	0.9890
500	$\delta_1 = 0.01$	82850	9537.2	361.64	5.7708	-471319	-21426	-252.39	1.4388
	$\delta_1 = 0.03$	57506	6611.7	250.72	4.3244	-133709	-8358.2	-133.26	1.0953
	$\delta_1 = 0.05$	29169	3374.3	131.18	2.8778	-27591	-3405.5	-74.812	1.0117
	$\delta_1 = 0.10$	509.69	91.335	7.9957	1.3335	11506	-390.91	-23.603	0.9811

ここに、M は歩道橋の全質量である。また、歩行者による最大応答速度 \dot{y}_{\max} や速度応答の最大実効値 $\dot{y}_{E,\max}$ は、理論上、それぞれ次式を適用すれば算定できることになる。

$$\dot{y}_{\max} = \omega \cdot y_{\max} \quad (16)$$

$$\dot{y}_{E,\max} = 0.707 \dot{y}_{\max} \quad (17)$$

ただし、田中・加藤は、共振歩行試験結果との整合性など実務レベルでの経験も加味し、速度応答の最大実効値 $\dot{y}_{E,\max}$ を以下の式で算定している。

$$\dot{y}_{E,\max} = 0.286 \dot{y}_{\max} \quad (18)$$

3. 使用性評価に対する提案手法

田中・加藤の簡易算定法は、歩行者による最大応答変位をきわめて簡単に推定できることから、現在、歩道橋の使用性を論じる上で重要な評価式となっている。しかしながら、まえがきにも述べたように、田中・加藤の簡易算定法では、最大応答変位の推定値から、速度応答の実効値を算定する場合、やや曖昧さが残っている。また、最近では、歩道橋の使用性を論ずる場合、歩調変化を考慮した検討の重要性も指摘されているが、田中・加藤の簡易算定法では、当然のことながら、 $\omega = \omega_1$ の非共振歩行時には適用

できない。そこで、本章では、構造対数減衰率が $\delta_1 = 0.05$ 以下でも十分な精度を有し、かつ、歩行者の歩調変化にも対応できる歩道橋の簡易評価式について検討を加えることとした。

ところで、外力 F_0 が単純桁歩道橋の支間中央に作用した場合の静的たわみ y_{st} は、曲げ剛性を EI 、支間長を ℓ とすれば、次式で計算できる。

$$y_{st} = \frac{F_0 \ell^3}{48EI} \quad (19)$$

また、動的応答変位の最大値を改めて y_{dy} とおき、式(19)と

$$F_0 = \frac{M}{2} \omega_1^2 \times y_{st} \quad (20)$$

の関係式を用いれば、共振歩行時に対する式(15)は、

$$\frac{y_{dy}}{y_{st}} = \frac{1}{\sqrt{1 - (\Omega_m / \omega_1)^2 + (2h_1 \Omega_m / \omega_1)^2}} \quad (21)$$

と変形できる。それゆえ、歩行者による歩道橋の応答には、無次元パラメーター Ω_m / ω_1 と構造減衰（減衰定数 h_1 あるいは構造対数減衰率 δ_1 ）が大きく関与するものと言える。ただし、田中・加藤の評価式では考慮されていないが、当然予想されるように、歩行者による歩道橋の応答には、歩道橋の 1 次固有円振動数と支間長をそれぞれ ω_1 、 ℓ 、歩行者の共振時

表-3 数値計算例で対象とした歩道橋の構造諸元

名 称	支間長 ℓ	重 量 w	断面 2 次モーメント I	固有振動数 f_1	$\omega_1 \times \ell / v_r$
Bridge-A	40.86 m	7.196 kN/m (0.744 tf/m)	0.0210 m ⁴	2.269 Hz	365
Bridge-B	29.30 m	2.491 kN/m (0.254 tf/m)	0.0022 m ⁴	2.444 Hz	259
Bridge-C	48.55 m	32.683 kN/m (3.333 tf/m)	0.0799 m ⁴	1.481 Hz	464
Bridge-D	42.00 m	15.984 kN/m (1.630 tf/m)	0.0789 m ⁴	2.812 Hz	366

歩行速度を v_r とすれば、 $\omega_1 \times \ell / v_r$ （歩行者が歩道橋を渡り終えるまでに加振する回数）も関係する。そこで、非共振時も含めた歩道橋の動的応答変位を算定する式を、田中・加藤の評価式を変形した式(21)に補正係数 $f(x_p)$ を乗じた

$$\frac{y_{dy}}{y_{st}} = \frac{f(x_p)}{\sqrt{1 - (\Omega_m / \omega_1)^2 + (\delta_1 \Omega_m / \pi \omega_1)^2}} \quad (22)$$

で表せるものと仮定し、 δ_1 と $\omega_1 \times \ell / v_r$ をそれぞれ変化させて補正係数 $f(x_p)$ を以下のように算出するものとした。ここに、 x_p は、

$$x_p = (\pi v_r / \ell \omega_1 - 1) - \frac{\Omega_m}{\omega_1} = \frac{\pi(v_r - v)}{\ell \omega_1} + \frac{\omega}{\omega_1} - 1 \quad (23)$$

と表され、 $x_p = 0$ において動的応答変位 y_{dy} が最大となるように導入した無次元パラメーターである。なお、共振歩調時には $\omega = \omega_1$ 、 $v_r = v$ であることから、式(23)は確かに $x_p = 0$ となり、最大の動的変位を与える。

まず、歩行者の体重を 686.42N (70kgf) と仮定し、表-1に示した 3 つの歩道橋 ($\omega_1 \times \ell / v_r$ がそれぞれ 200, 350, 500 の Bridge-200, Bridge-350, Bridge-500) 上を移動する場合の動的応答解析を実施した。ただし、解析にあたっては、歩行者を共振・非共振歩行させるものとし、歩行速度 v と衝撃力比 α を図-1に基づいて変化させている。なお、表-1の歩道橋では、所定の $\omega_1 \times \ell / v_r$ を満足させるため、重量と断面 2 次モーメントを実在橋梁とやや異なる値に設定している。しかしながら、式(22)と式(23)はすべて無次元化されているため、以下に示す補正係数 $f(x_p)$ は、歩行者の体重や橋梁の構造諸元によって変化しないことを付記しておく。

式(22)の y_{st} と右辺の分母は、歩道橋の構造諸元が与えられれば容易に計算できる。したがって、動的応答解析で算出した y_{dy} を式(22)に代入して最小二乗法を適用すれば、補正係数 $f(x_p)$ が無次元量 x_p のみの関数として与えられる。 $f(x_p)$ を

$$f(x_p) = ax_p^3 + bx_p^2 + cx_p + d \quad (24)$$

で表示した場合の各係数 a , b , c , d を表-2にまとめる。ただし、表中には $x_p \leq 0$ の場合（歩行者が共振歩調以下で移動する場合）のみを示しているが、たとえば共振歩調よりも+3%大きい歩調 ($x_p \geq 0$ の場合) に対しては、-3%の歩調での応答変位を求めた後に衝撃力の比 (+3%歩調の衝撃力/-3%歩調の衝撃力) を乗ずれば、+3%大きい歩調での変位応答を算出できる。

4. 数値計算例と考察

本章では、実在する表-3の単純桁歩道橋 (Bridge-A, Bridge-B, Bridge-C, Bridge-D)³⁾ を対象として、共振歩行および共振歩調から±5%, ±3%, ±1%だけ変化させた非共振歩調について、簡易推定式による結果と解析結果を対比することとした。ただし、歩行者の体重 w は 686.42N (70kgf) と仮定し、歩行速度 v と衝撃力比 α は図-1に基づいて変化させるものとした。

本文で提案した評価式と動的応答解析による結果を比較して図-2～図-5に示す。ただし、各橋梁モデルの簡易評価式による結果は、表-2中における $\omega_1 \times \ell / v_r$ との差異を考慮し、線形補間して算出した値である。図-2～図-5から、構造対数減衰率を比較的小さい $\delta_1 = 0.01$ と $\delta_1 = 0.03$ に設定しても、簡易式と動的応答解析による結果は非常に良く対応し、図中の黒塗り記号（推定値）と白抜き記号（解析値）がほぼ完全に一致していることがわかる。

本文で提案した推定法の大きな利点は、非共振歩行時における変位応答を推定できることにある。すなわち、従来は田中・加藤の式を用いて共振歩行時における応答を求めた後、加振効率に対応する係数を乗じて実橋での応答を推定していた。これは、共振歩行試験のように被験者が意図的に共振歩行を試みても実際の歩調は微妙に変化し、歩行外力を棍川の方法でモデル化した場合、動的応答解析結果が一般に共振歩行試験結果よりも大きくなるためである。それゆえ、最近では歩調変化を考慮した検討の重要

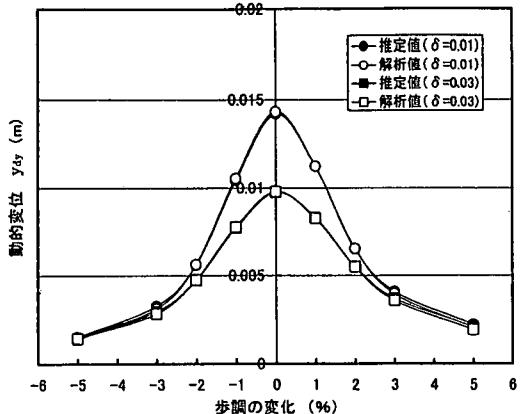


図-2 簡易評価法と解析結果の比較 (Bridge-A)

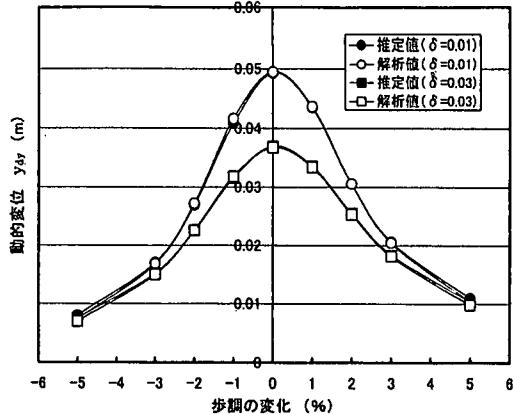


図-3 簡易評価法と解析結果の比較 (Bridge-B)

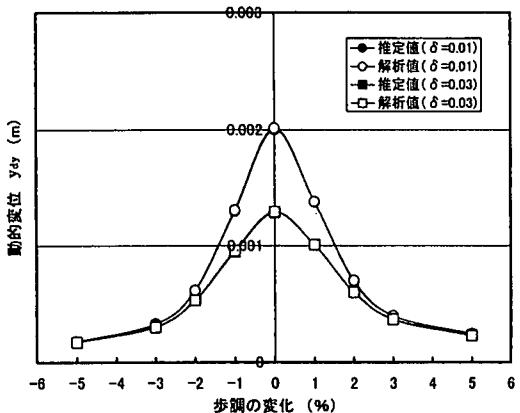


図-4 簡易評価法と解析結果の比較 (Bridge-C)

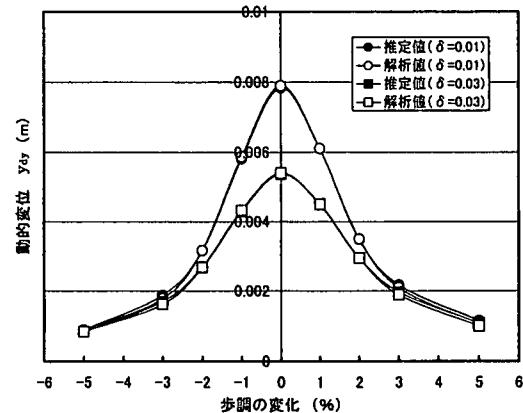


図-5 簡易評価法と解析結果の比較 (Bridge-D)

表-4 共振歩行に対する推定精度

△	田中・加藤の方法による推定精度				本提案手法による推定精度			
	構造対数減衰率				構造対数減衰率			
	0.01	0.03	0.05	0.10	0.01	0.03	0.05	0.10
Bridge-A	-35.4%	-15.7%	-5.9%	+1.2%	-0.9%	-0.3%	-0.3%	-0.0%
Bridge-B	-39.0%	-22.8%	-12.1%	-0.9%	-0.3%	+0.7%	+1.1%	+1.0%
Bridge-C	-32.2%	-11.1%	-2.6%	+1.8%	-0.7%	-0.5%	-0.2%	-0.0%
Bridge-D	-34.6%	-15.8%	-5.8%	+1.3%	-0.8%	-0.5%	-0.2%	+0.0%

性も指摘されているが、本評価法を適用すれば上述したように歩行者の歩調が変化した場合の応答変位を推定でき、単純桁歩道橋の使用性についてより適切で、かつ、合理的な検討が可能となる。ただし、低減すべき歩行者の歩調は共振歩調に対して 2.5%～3%との報告もなされているが³⁾、より正確には今後の議論を待たなければならない。それゆえ、現時点では、共振歩行時における応答を求めた後、加振効率を乗じる手法もなお有用と考えられる。

加振効率としては 0.4～0.5 程度の値³⁾が考えられ

ているが、当然のことながら、この際にも共振歩行時での変位応答をより正しく求めることが重要となる。表-4 は共振歩行時について田中・加藤の方法と本手法の推定精度を比較したものであるが、この表からわかるように、田中・加藤の方法では構造対数減衰率が $\delta_1 = 0.05$ であってもなお -3%～-12% の誤差があるのに対し、本評価法では $\delta_1 = 0.01 \sim \delta_1 = 0.10$ の範囲において推定精度は 1.1% 以内にある。それゆえ、本評価手法は、共振歩行時に対して、従来の手法と比べてさらに高い精度で歩行者に

よる応答変位を推定できると言える。なお、歩行衝撃力のモデル化として、小幡・林川らが提唱する方法（余弦波における負の部分の荷重を除外する方法）を採用するケースも増加しているが、この場合の解析結果は、梶川の歩行衝撃力を用いた場合の結果と比べ、約半分の大きさとなる。したがって、歩行衝撃力として小幡・林川らの方法を採用した場合の動的応答解析結果は、本評価手法による推定結果に0.5を乗ずれば算出できることを付記しておく。

以上、本文中では動的応答変位の推定方法を述べたが、歩道橋の振動に対する使用性は一般に変位ではなく振動速度の実効値を用いて評価される。したがって、単純桁歩道橋の使用性を評価する設計業務では、本文の簡易推定法を適用して y_{dy} を求め（共振歩行時には 0.4~0.5 程度の加振効率を乗じて y_{dy} を求め）、

$$\dot{y} = \omega y_{dy} \quad (25)$$

を用いて振動速度に変換した後、0.707 を乗じて実効値 $\dot{y}_{E,dy}$ を算出すれば良い。

5. まとめ

本文は、共振歩行時のみならず非共振歩行時にも適用できる、歩道橋の設計用使用性評価式を提案し、その有用性を検討したものである。得られた主要な結果を以下にまとめる。

(1) 歩道橋の 1 次固有円振動数と支間長をそれぞれ ω_1 、 ℓ 、歩行者の歩行速度と共振時歩行速度をそれぞれ v 、 v_r 、歩調に対応する固有円振動数を ω とすれば、歩行者による歩道橋の動的応答変位には、

$$\Omega_m/\omega_1 = (\omega - nv/\ell)/\omega_1$$
、構造対数減衰率 δ_1 、 $\omega_1 \times \ell / v_r$ （歩行者が歩道橋を渡り終えるまでに加振する回数）の各無次元パラメーターが大きく関与する。本文では、これらの無次元パラメーターを考慮し、

$\omega_1 \times \ell / v_r$ が $\omega_1 \times \ell / v_r = 200 \sim 500$ で、構造対数減衰率が $\delta_1 = 0.01 \sim 0.10$ の範囲で適用できる、単純桁歩道橋の使用性評価式を提示した。

(2) 4 つの歩道橋 (Bridge-A~Bridge-D) 上を、共振歩行および共振歩調から ±5 %、±3 %、±1 % だけ変化した非共振歩行する場合について、提案した簡易評価法と動的応答解析の結果を比較した。その結果、共振ならびに非共振歩行時を含め、いずれの歩道橋に対しても、推定値と解析値は非常に良く一致した。

(3) 田中・加藤の方法と本手法の推定精度を共振歩行時について比較した。その結果、田中・加藤の方法では、推定精度が歩道橋の構造対数減衰率 δ_1 に依存し、たとえ $\delta_1 = 0.05$ であっても設計にとって危険側の結果 (-3%~ -12% の誤差) を与えることが判明した。これに対し、本評価手法の推定精度は $\delta_1 = 0.01 \sim \delta_1 = 0.10$ の範囲において 1.1% 以内にあり、従来の手法と比べ、共振歩行時に対しても非常に高い精度で歩行者による応答変位を推定できた。

参考文献

- 1) たとえば、梶川康男、深田宰史、吉川裕晃：單径間 PC 吊床版歩道橋の振動特性、構造工学論文集、Vol.44A、pp.811~817、1999年3月。
- 2) 田中信治、加藤雅史：設計時における歩道橋の振動使用性照査法、土木学会論文集、第 471 号 / I-24、pp.77~84、1993 年 7 月。
- 3) 米田昌弘：単純桁歩道橋の共振歩行時における動的応答特性に関する 2, 3 の考察、構造工学論文集、Vol.45A、pp.623~632、1999 年 3 月。
- 4) 梶川康男：振動感覚を考慮した歩道橋の使用性照査法に関する研究、土木学会論文集、第 325 号、pp.23~33、1982 年 9 月。
- 5) 小幡卓司、林川俊郎、佐藤浩一：人間の振動感覚に基づいた歩道橋の使用限界状態に関する研究、土木学会論文集、第 537 号 / I-35、pp.217~231、1996 年 4 月。

(2000.1.14 受付)

A SIMPLIFIED METHOD FOR EVALUATING MAXIMUM RESPONSE AMPLITUDE OF THE PEDESTRIAN BRIDGES DUE TO A WALKING HUMAN

Masahiro YONEDA

This paper deals with a simplified method for evaluating the maximum response amplitude of the pedestrian bridges caused by a walking human. Numerical simulations were carried out for the pedestrian bridges with the structural logarithmic decrement δ_1 of 0.01~0.10. It was ascertained that the evaluation value based on the simplified method developed in this paper could be fairly in good agreements with the computed value when a person walked on the bridges with and without the same pace as natural frequency.