歩行者による連続桁形式歩道橋の振動使用性評価法

近畿大学理工学部　正会員 ○米田 昌弘
近畿大学理工学部　池田 尚子
近畿大学理工学部　荻田 智代

1．はじめに

多種多様化した現在の歩道橋では，単純桁形式のみならず連続桁形式も数多く存在する．歩道橋では振動使用性の検討が重要となるが，連続桁形式歩道橋に対しては，未だ設計で要求される簡易さと精度を兼ね備えた推定式が提示されていないのが現状である．そこで，本研究では，固有振動解析結果を必要としない，連続桁形式歩道橋の振動使用性評価法を提案し，その有用性について検討することとした．

2．歩行者による最大速度応答の推定法

著者の一人は，すでに吊床版橋の振動使用性評価式として次式を提案している[1]．

$$\dot{y}_{\max} = \omega_1 \times \frac{1}{M_1} \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_1{}^2 - \Omega_m{}^2)^2 + 4h_1{}^2\omega_1{}^2\Omega_m{}^2}} \times d \tag{1}$$

ここに，f_0は歩行外力の最大値，ω_1は基本固有円振動数，M_1は基本振動モードの一般化質量，h_1は基本振動モードの減衰定数である．式(1)は汎用性の高い振動使用性評価式で，基本固有円振動数ω_1と一般化質量M_1が与えられれば，連続桁形式歩道橋に対しても最大速度応答$\dot{y}_{\max}$を推定できると考えられる．なお，基本固有円振動数ω_1と一般化質量M_1は固有振動解析を実施すれば算出できるが，ここでは，実務設計者の利用の便を考え，固有振動解析を実施しないでこれらの諸量を推定する手法を以下に示すこととする．

可動支点部が設計条件通りの挙動を示すとした場合，連続桁形式歩道橋の基本固有振動数f_1は，全長が等しい単純桁のたわみ基本固有振動数算定式に，振動数の上昇を表す補正係数$C_v(\ell_s/\ell_T)$を乗ずれば算出できる．

$$f_1 = \frac{\pi}{2\ell_T{}^2}\sqrt{\frac{g \cdot EI}{w}} \times C_v(\ell_s/\ell_T) \tag{2}$$

ここに，ℓ_Tは連続桁（中間支点を除去した場合の単純桁）の全長，EIは鉛直曲げ剛性，wは単位長さ当たりの重量である．補正係数$C_v(\ell_s/\ell_T)$は，固有振動解析結果と式(2)で$C_v(\ell_s/\ell_T)$=1.0とした結果を比較すれば算定でき，最小二乗法を適用すれば2径間および3径間連続桁橋の補正係数$C_v(\ell_s/\ell_T)$として次式が与えられる．

2径間　$C_v(\ell_s/\ell_T) = -25.84 \times (\ell_s/\ell_T)^2 + 29.27 \times (\ell_s/\ell_T) - 4.17$　$(0.33 \le \ell_s/\ell_T \le 0.50)$　(3)

3径間　$C_v(\ell_s/\ell_T) = -323.4 \times (\ell_s/\ell_T)^2 + 227.0 \times (\ell_s/\ell_T) - 30.75$　$(0.25 \le \ell_s/\ell_T \le 0.33)$　(4)

一方，単位長さ当たりの重量wと固有振動解析で得られた固有振動モードを一般化質量M_1の定義式に代入すれば，2径間および3径間連続桁橋の一般化質量M_1の推定式として次式が与えられる．

2径間　$M_1/(w\ell_m/2g) = 17.094 \times (\ell_s/\ell_m)^3 - 31.994 \times (\ell_s/\ell_m)^2 + 20.144 \times (\ell_s/\ell_m) - 3.2498$　(5)

3径間　$M_1/(w\ell_m/2g) = 19.283 \times (\ell_s/\ell_m)^3 - 32.405 \times (\ell_s/\ell_m)^2 + 18.941 \times (\ell_s/\ell_m) - 2.8255$　(6)

ここに，$w \times \ell_m/2g$は，可動支点部が設計条件通りの挙動を示す単純桁歩道橋（長さはℓ_m）の一般化質量である．したがって，式(5)と式(6)の左辺$M_1/(w\ell_m/2g)$は一般化質量比（連続桁と単純桁の一般化質量の比率）を表している．

以上の手法で求まった基本固有円振動数ω_1と一般化質量M_1を，歩行外力の最大値f_0，減衰定数h_1とともに，式(1)に代入すれば，歩行者によって誘起される連続桁形式歩道橋の動的応答を算定できることになる．

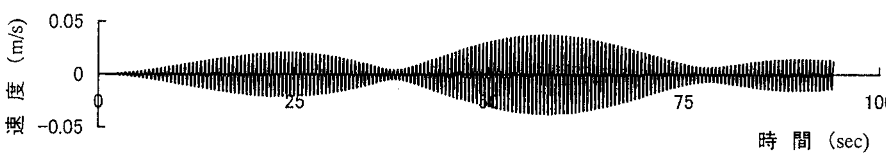
3．連続桁形式歩道橋の数値計算例と考察

本研究では，支間長比ℓ_s/ℓ_mが0.6，0.8，1.0の3径間連続桁形式歩道橋（最大支間長はいずれも50m）を検討の対象とした．各歩道橋モデルの構造諸元を表－1にまとめる．まず，一例として，Bridge-405040

Masahiro YONEDA,　Hisako IKEDA,　Tomoyo OGITA

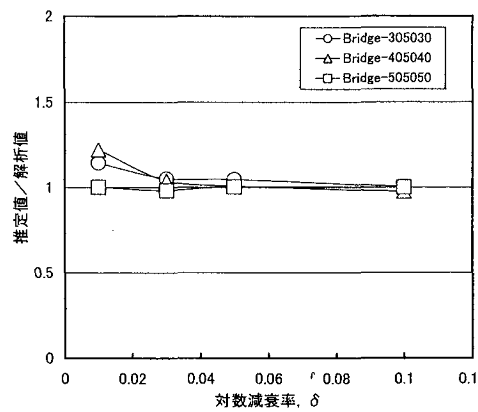
表－１　数値計算例で対象とした３径間連続歩道橋の構造諸元

名　称	支間割	支間長比	重　量 w	断面２次モーメント I	断面積 A	高さ h
Bridge-505050	50m+50m+50m	1.0	9.81 kN/m	0.03 m^4	0.04 m^2	0.75 m
Bridge-405040	40m+50m+40m	0.8	9.81 kN/m	0.03 m^4	0.04 m^2	0.75 m
Bridge-305030	30m+50m+30m	0.6	9.81 kN/m	0.03 m^4	0.04 m^2	0.75 m



図－１　Bridge-405040 の動的応答解析結果
（対数減衰率 δ=0.03，共振歩調；1.976 歩／秒，歩行距離=40m+50m+40m）

（40m+50m+40m の３径間連続桁形式歩道橋）を対象として，歩行者による動的応答解析を実施した．一人の歩行者（体重は 686N=70kgf）が橋端から橋端まで移動した場合（歩行距離は橋長と同じく 40m+50m+40m=130m）の時刻歴応答波形（主径間の中央点における速度応答）を図－１に示す．なお，この解析にあたっては，１次の基本振動のみを考慮し，構造対数減衰率を δ=0.03 に設定している．また，歩行者は基本固有振動数が 1.976Hz であることから 1.976 歩／秒（共振歩調）で歩行するものとし，歩行速度 ν と衝撃力比 α は，梶川の方法[2]より $\nu = 1.381$ m/s，$\alpha = 0.390$ を採用するものとした．同様に，その他の歩道橋についても動的応答解析を実施できる．構造対数減衰率を δ=0.01，0.03，0.05，0.10 に設定した場合の動的応答解析結果と推定値を比較して図－２に示す．図－２から，３径間連続桁は，構造対数減衰率を δ=0.03 以上に設定した場合，推定法による結果も精度が-3％～+3％にあり，動的応答解析結果と非常に良く一致していることがわかる．これに対し，構造対数減衰率を δ=0.01 に設定した場合には，推定値の精度は+10％～+25％の範囲にあり，設計にとって安全側ではあるものの，動的応答解析結果と比べ幾分大きい結果を示している．これは，図－１に示した波形からも推察されるように，第１径間部（短径間部）の歩行中に発生する振動応答に起因していると考えられる．すなわち，等径間でない連続桁形式歩道橋では最大応答が主径間の中央点で生じるが，構造対数減衰率を δ=0.01 と非常に小さく設定した場合，歩行者が第１径間部の歩行を終了しても比較的大きな振動応答が残留し，第２径間部（主径間部）に進入した後も，歩行外力は，しばらくの時間，第１径間部の歩行中に発生した振動応答の低減に費やされるためである．なお，２径間連続桁歩道橋についても，同様の数値計算を行った結果，固有振動解析を実施しなくても，本文で提案した推定法を適用すれば，動的応答解析手法と同程度の精度で，歩行者による振動応答を算定できたことを付記しておく．



図－２　３径間連続桁形式歩道橋の推定精度
（歩行距離=40m+50m+40m）

参考文献　1)米田昌弘：歩行者によって誘起される吊床版橋の動的応答特性とその設計用使用性評価式，構造工学論文集，Vol.47A，2001 年３月（印刷中）．　2)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．