

第 部門

梁の解析解を用いた鋼 2 主 I 桁橋の固有振動数算定法

近畿大学理工学部 学生員 ○池田 卓矢
 近畿大学理工学部 フェロー 米田 昌弘
 川田工業(株) 正会員 枝元 勝哉
 近畿大学理工学部 学生員 岩里 泰幸

1. はじめに 鋼少数 I 桁橋では、2 次部材を省略した結果、橋梁の全体ねじれ剛性は従来橋に比べて大幅に低下し、従来の桁橋では問題とされなかった風による振動現象（主としてねじれ渦励振）についても検討の必要性が指摘されている¹⁾。それゆえ、現在では、全橋 FEM モデルによる解析を実施して橋梁の固有振動数を求める場合も多い。しかしながら、全橋 FEM モデルによる解析では、入力データの作成に多大な労力と時間を要することから、実務技術者からは、鋼少数 I 桁橋の基本固有振動数を算定する簡便な手法の提示が望まれていた。そこで、本研究では、最も採用実績の多い、ほぼ等径間を有する鋼 2 主 I 桁橋を対象として、鉛直たわみとねじれの基本固有振動数算定法について検討した。

2. 基本固有振動数の算定法

(1) 鉛直たわみ基本振動数 周知の如く、支間長や構造諸元が同じであれば、等径間連続桁橋と単純支持桁橋の基本固有振動数は等しく、以下の解析解を用いて算出できる。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{E_s I_{sz}}{w/g}} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{E_s I_{sz}}{m}} \quad (1)$$

ここに、 f_n は鉛直たわみ基本固有振動数、 L は最大支間長、 w は単位長さ当りの重量、 g は重力加速度、 m は単位長さ当りの質量、 E_s は鋼材のヤング係数、 I_{sz} は鋼換算した断面の図心軸に関する断面 2 次モーメントである。

(2) ねじれ基本振動数 鋼 2 主 I 桁橋のねじれ基本固有振動数は、両端固定梁に対する以下の解析解を適用すれば算定できると考えられる。

$$f_\theta = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{G_s J_{se}}{I_\theta}} \quad (2)$$

ここに f_θ はねじれ基本固有振動数、 I_θ は単位長さ当りの極慣性モーメントである。 $G_s J_{se}$ は鋼部材に換算した等価ねじれ剛性であり、桁断面を鋼に換算して求めた（純）ねじれ定数を J 、それねじり定数を C_ω とすれば

$$G_s J_{se} = G_s J_s + E_s C_\omega \times (\pi/L)^2 \quad (3)$$

で求められる。ただし、そりねじり剛性 $E_s C_\omega$ の算定にあたっては、主桁剛性に加え、以下に示す式(4)を用いて壁高欄の曲げ剛性を反映することとした。

$$E_s C_\omega = E_s I_{sz}^k \times (b_k/2)^2 + E_s (I_{sz} - I_{sz}^k) \times (b_g/2)^2 \quad (4)$$

ここに、 I_{sz}^k は鋼換算した図心軸（壁高欄も含めた断面全体の図心軸）に関する壁高欄のみの面内断面 2 次モーメント、 b_k は壁高欄の中心間隔、 I_{sz} は鋼換算した図心軸に関する桁断面（壁高欄を除いた断面）の面内断面 2 次モーメント、 b_g は主桁の中心間隔である。

4. 適用結果と考察

(1) モデル橋での対比 本研究で提示した算定手法の妥当性を検証するため、まず 鋼 2 主 I 桁橋 (50m+50m+50m の 3 径間連続桁橋) を対象として、全橋 FEM モデルによる固有振動解析結果と比較することとした。対象橋梁の断面諸元を表 - 1 に示す。ただし、FEM 解析にあたり、鋼材、コンクリート、アスファルトの単位体積当りの重量は 76.93 kN/m^3 、 24.50 kN/m^3 、 22.54 kN/m^3 としている。解析結果と算定結果の比較結果を表 - 2 に示す。表 - 2 からわかるように、算定結果は解析結果と比較して工学的に十分許容できると考えられる。

(2) 実在橋梁に対する適用結果 表 - 3 に示した実在する鋼 2 主 I 桁橋を対象として、それぞれの固有振動解析結果と提案した算定法の結果を対比することとした。たわみとねじれの基本固有振動数に対する対比結果をそれぞれ図 - 1、図 - 2 に示す。なお、ねじれの算定式を適用するにあたり、図心に関する極慣性モーメント $\times 0.9$ （せん断中心に関する極慣性モーメント）を採用することとした。図 - 1 より、実在橋梁の鉛直たわみ基本固有振動数は、適切に算出した断面諸元を用いて単純支持梁の解析解を適用すれば、FEM による固有振動解析結果と比較して 6% 以内の誤差で算定できることがわかる。また、同様に、図 - 2 から、鋼 2 主 I 桁橋の純ねじれ剛性とそりねじれ剛性（主桁と壁高欄の剛性寄与）を適切に評価し、両端固定梁の解析解を適用すれば、変断面を有する長支間橋梁を除き、実在橋梁のねじれ基本固有振動数も、FEM による固有振動解析結果と比較して 6% 以内の誤差で算定できることがわかる。

5. まとめ 本研究より、鋼 2 主 I 桁橋の鉛直たわみとねじれの基本固有振動数は、本文で提示した梁の解析解を適用した手法を用いても、非常に高い精度で算定できることがわかった。

参考文献 山田ほか：少数主桁橋梁の耐風性，橋梁と基礎，Vol.36，No.2，pp.37～42，2002 年 2 月。

表 - 1 モデル橋の断面諸元

部 材		幅（高さ）	厚 み	ヤング係数	せん断弾性係数
壁高欄（ $b_k = 10.16m$ ）		1.075 m	0.250 m	24.53 GPa	10.48 GPa
床 版		10.410 m	0.300 m	28.94 GPa	12.37 GPa
主 桁 ($b_g = 5.7m$)	上フランジ	0.440 m	0.023 m	206.0 GPa	79.23 GPa
	ウェブ	2.950 m	0.015 m	206.0 GPa	79.23 GPa
	下フランジ	0.470 m	0.024 m	206.0 GPa	79.23 GPa
アスファルト舗装		9.500 m	0.075 m	-	-
ハンチ		0.080 m	-	-	-

表 - 2 モデル橋での対比

	解析値(Hz)	算定値(Hz)	誤差(%)
鉛直たわみ	2.098	1.940	8.9
ねじれ	2.414	2.224	7.4

表 - 3 検討対象とした鋼 2 主 I 桁橋

No.	支 間 割
1	67.5m+6@50.0m+47.35m
2	53m+53m
3	65.2m+2@57.5m+2@86.5m+55.2m
4	46.45m+53m+53m+40.4m
5	41.5m+48.5m+3@40m+38.85m
6	56.3m+3@70m+56.9m
7	58.2m+8@59m+58.2m
8	49.2m+60m+59.2m+56.6m
9	44.9m+60.6m+3@64.7m+6@61.0+54.0m
10	47.4m+2@48.5m+47.4m

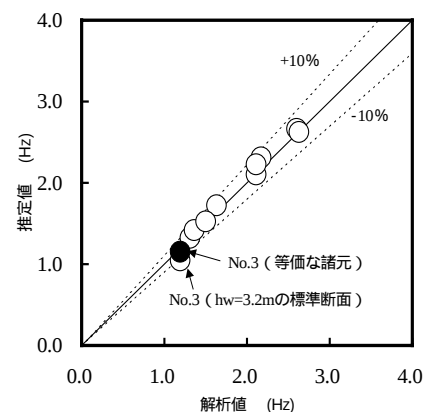


図 - 1 鉛直たわみ基本振動数の対比

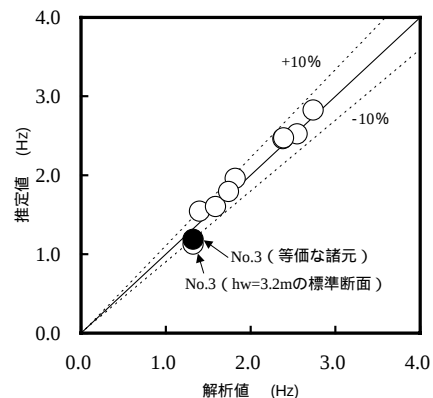


図 - 2 ねじれ基本振動数の対比（図心軸の極慣性モーメント $\times 0.9$ を採用）