

(139) 銀山御幸橋(波形鋼板ウェブPC箱桁橋)の固有値解析

秋田県土木部	道路建設課	○石黒 亙
ドーピー建設工業	技術センター	正会員 上平 謙二
ドーピー建設工業	技術センター	正会員 立神 久雄
ドーピー建設工業	東北支店	正会員 村田 嘉宏

1. はじめに

本橋は、ウェブに波形鋼板を用いたコンクリートと鋼の合成断面を有する5径間連続PC箱桁橋である。橋長は210.0mで、支間は27.4m、30.45.5m、44.9mである(図-1)。上床版と下床版はコンクリートとし、ウェブ部材に波形鋼板を用いた合成構造である(図-2)。本形式橋梁の動的挙動については、ほとんど研究されていないのが現状である。本橋では各種振動実験を行い、波形鋼板ウェブPC箱桁橋の振動特性を確認した。本論文は、その中でも固有値解析に的を絞って述べるものである。

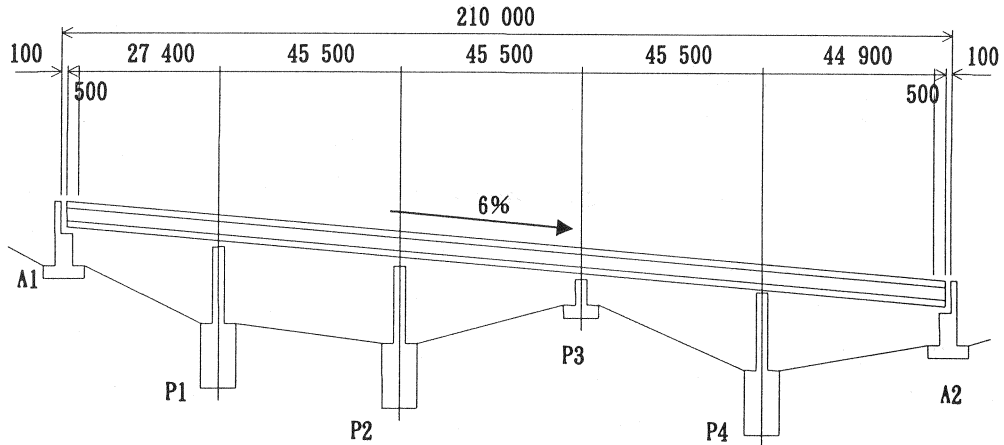


図-1 橋梁側面図

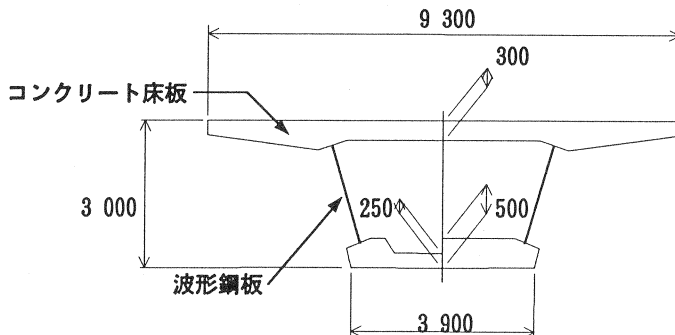


図-2 橋梁断面図

2. 振動実験目的

本形式橋梁の動的挙動については、本田ら¹⁾の波形鋼腹板桁の基礎研究、加藤ら²⁾の振動測定以外に殆ど研究されていないのが現状である。そこで、本橋の振動特性を検証し、今後、波形鋼板ウェブPC橋採用に向けての資料整備を目的に以下の実験を実施した。

- ① 波形鋼板構造特有の振動特性の検証。
- ② 車両走行時の外ケーブルの振動特性の検証。
- ③ 車両走行時の外ケーブルの共振性の検証。
- ④ 動的増幅率（衝撃係数）の検証。

3. 固有値解析

固有値解析を行うための構造物の力学的モデルは、図-3に示すように主桁と外ケーブルを考慮した3次元骨組みモデルとした。そのモデルは、次のような仮定に基づいている。

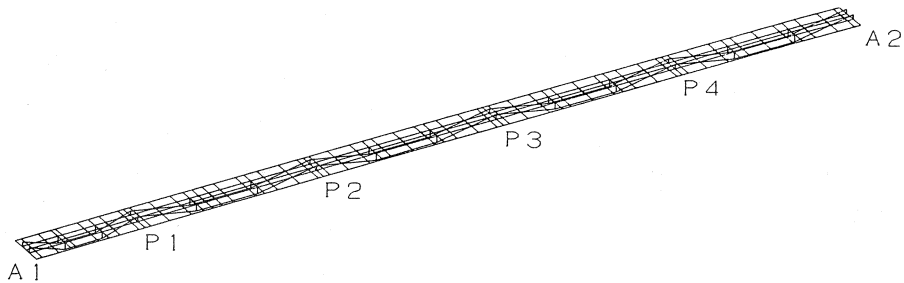


図-3 解析モデル図

- ① モデルは、質点モデルとする。
- ② 縦断線形の影響を考慮する。
- ③ 主桁の曲げ剛性は、上下コンクリート床版のみとする。
- ④ 主桁のせん断剛性は、波形鋼板ウェブ断面積を有効せん断断面積とし、せん断変形を考慮する。
- ⑤ 主桁のねじり剛性は、主桁の偏平度を考慮したねじり剛性を用いる。
- ⑥ 外ケーブルをモデル化し、その張力を考慮する。

上記の④⑤については、筆者らの研究成果に基づき決定している。以下に、その概要を示す。

(1) せん断剛性評価

筆者らの静的解析から、本形式の橋梁の変形量は曲げ変形量とせん断変形量の合計として与えられるものである。また、荷重がどんな形（集中荷重・分布荷重）であろうが、波形鋼板の実長 Σl を考慮することでせん断変形量の評価方法を提案している。本固有値解析では、以下に示すせん断剛性の評価式(1)を用いて計算を行った。

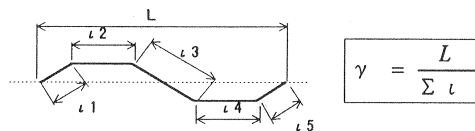
$$GA = G \cdot h \cdot \gamma \cdot t \quad (1)$$

ここに、 t : 波形鋼板の厚さ

γ : 修正係数($= \frac{L}{\Sigma l} = 0.933$)

L : 波形鋼板の水平長さ

Σl : 波形鋼板の実長



(2) ねじり剛性評価

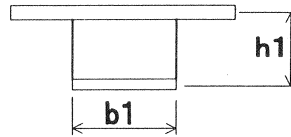
せん断剛性評価と同様に、筆者らは静的解析から、せん断変形に敏感な波形鋼板の高さの影響、つまり、箱断面形状の偏平度の影響を考慮できる、ねじり剛性の評価式を提案している。ここに、箱桁形状の偏平度とは、主桁の桁高さ(h₁)と下床板幅(b₁)の比である。せん断剛性と同様、本固有値解析では、以下に示すねじり剛性の評価式(2)を用いて計算を行った。

$$J_t = \frac{4A_m^2}{\left(\frac{h_1}{n_s \cdot t_1 \cdot (1+\alpha)} + \frac{b_1}{t_2 \cdot (1-\alpha)} + \frac{h_1}{n_s \cdot t_3 \cdot (1+\alpha)} + \frac{b_1}{t_4 \cdot (1-\alpha)}\right)} \dots \dots \dots (2)$$

$$\alpha = 0.400 \cdot \frac{h_1}{b_1} - 0.060 \dots \dots \dots (3)$$

ここに、J_t: ねじり定数

- A_m: ボックス断面積(= b₁ · h₁)
- b₁: 波形鋼板中心幅
- h₁: 床版中心高
- n_s: G_s / G_c
- G_s: 鋼のせん断弾性係数
- G_c: コンクリートのせん断弾性係数
- α: 修正係数



4. 振動実験結果と固有値解析との比較

(1) 主桁の振動特性

表-3に固有値解析タイプを示す。また、本橋の振動特性の計測結果と固有値解析結果の比較を表-4に、固有振動モードを図-4に示す。計測による本橋の減衰定数hは、0.01~0.02であり、本橋(波形鋼板ウェブPC箱橋)は、鋼橋とプレストレストコンクリート橋の間の振動特性であると考える。

表-3の固有振動数の比較表から解るように、鉛直モードは、せん断変形を考慮した解析タイプ(TYPE1およびTYPE2)は実験値とほぼ同様な数値を示したのに対し、せん断変形を考慮しない解析タイプ(TYPE3)は実験値とかなり離れた数値を示した。これは、せん断変形の影響が非常に大きい波形鋼板ウェブPC箱桁橋は、上記(1)式でせん断剛性が評価できる事が確認された。また、ねじりモードに関しては、箱断面形状の偏平度の影響を考慮した解析タイプ(TYPE1およびTYPE3)は実験値より多少小さい値を示し、そうでないもの(TYPE2)は実験値より多少大きい値を示したものの、実験値とほぼ同様な数値を示した。これは、本橋の主桁断面形状の偏平度(ウェブ高さと下床板幅の比)があまり大きくないからであると考え。今後、広い幅員や高い桁高で偏平度の大きい橋梁が建設され振動実験を行う機会があれば、本形式橋梁のねじり振動特性を検証していきたいと考える。

また、本解析では外ケーブルをモデル化し、その張力を考慮したものと、そうでないものとを比較したが、両者の差はなかった。これは、本橋の外ケーブルは後荷重(橋面・活荷重)対応なので、外ケーブル比率が小さいためであると考え。

表-3 固有値解析タイプ

解析タイプ	TYPE1	TYPE2	TYPE3
せん断変形	考慮	考慮	考慮しない
ねじり剛性	主桁偏平度考慮	主桁偏平度考慮しない	主桁偏平度考慮

表-4 計測結果と固有値解析結果の比較

	固有振動数(Hz)				比較			減衰定数
	実験値(A)	TYPE1(B)	TYPE2(C)	TYPE3(D)	(A)/(B)	(A)/(C)	(A)/(D)	
鉛直1次モード	2.861	2.923	2.924	3.168	0.979	0.978	0.903	0.0215
鉛直2次モード	3.203	3.303	3.313	3.737	0.970	0.967	0.857	0.0240
鉛直3次モード	3.772	3.848	3.863	4.696	0.980	0.976	0.803	0.0146
鉛直4次モード	4.330	4.325	4.331	5.726	1.001	1.000	0.756	0.0114
鉛直5次モード	-----	6.676	6.660	9.006	-----	-----	-----	-----
ねじり1次モード	5.750	5.925	5.698	5.922	0.970	1.009	0.971	-----
ねじり2次モード	-----	6.220	5.995	6.218	-----	-----	-----	-----
ねじり3次モード	-----	6.706	6.496	6.704	-----	-----	-----	-----
ねじり4次モード	6.980	7.196	6.894	7.191	0.970	1.012	0.971	-----
ねじり5次モード	7.964	8.013	7.472	8.008	0.994	1.066	0.995	-----

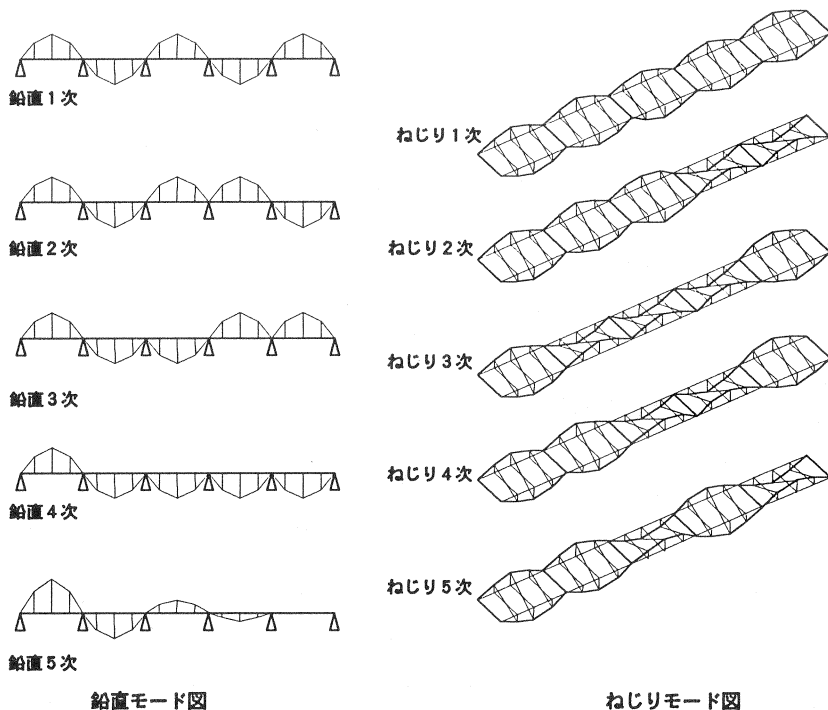


図-4 主桁の固有振動モード図

5. おわりに

本振動実験においては、静的解析で確認したねじり剛性およびせん断剛性の評価方法を用いて固有値解析を行えることが確認できた。最後に、本報告が今後の波形鋼板ウェブPC橋の発展に役立てば幸いである。

【参考文献】

- 1) 本田・秋葉・水木：振動実験に基づく波形鋼腹板桁の動的特性に関する基礎研究、鋼構造年次論文報告集、第1巻、pp337～344、1993年7月
- 2) 加藤・佐藤・吉田・久保：波形鋼板ウェブ橋梁(新開橋)の振動測定、土木学会年次論文報告集、第1巻、pp1160～1161、1994年9月
- 3) 立神久雄、上平謙二：ウェブに波形鋼板を用いたボックス桁の力学的特性、第3回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp187～192、平成4年11月