

(14) 波形鋼板ウェブPCラーメン橋“本谷橋”の振動試験

(株)ピー・エス 土木技術部 正会員 ○武村 浩志
 日本道路公団 名古屋建設局 白鳥工事事務所 古田 公夫
 日本道路公団 名古屋建設局 構造技術課 水口 和之
 (株)ピー・エス 技術研究所 正会員 久保 明英

1. はじめに

本谷橋は、東海北陸自動車道に架かる波形鋼板ウェブPC3径間連続ラーメン橋である。図-1に示すように中央径間が97mにも及び、波形鋼板ウェブ橋としては我が国で初めてキャンチレバー工法で施工されるものである。ウェブに波形鋼板を用いることによる特徴は、主桁自重の軽減によるスパンの長大化・コストの低減、コンクリートウェブの不要に伴う施工の合理化・工期短縮、波形鋼板のアコーディオン効果による効率の良いプレストレスの導入、など多くが挙げられる。しかし、振動特性に関しては新しい構造形式ということで不明な点が多いのが現状である。このようなことから、橋面工まではほぼ完成した平成10年5月に振動実験を行い、固有振動数や減衰定数などの振動特性の検討を行った。これらは、本谷橋だけに限らず、今後採用が増加すると思われる波形鋼板ウェブ橋全体の振動特性の把握にも役立つものと思われる。

2. 実験方法

2.1 載荷方法

写真-1に示すように、総重量25tfのダンプトラックの後輪を、所定の位置に設置された高さ14cmの枕木から落下させることで橋を起振する。ここで所定の位置とは、面内振動モードや面外振動モードを確実に引き起こすように、中央径間の支間中央・幅員中央、中央径間の支間中央・幅員上流側、中央径間の1/4支間位置・幅員中央の3ケースとした。



写真-1 載荷状況

2.2 計測方法

計測箇所は、各方向の振動特性を確実にとらえるため表-1に示した6箇所とした。実験時には、この計測箇所を設置された加速度計から衝撃荷重による主桁の応答加速度を計測する。この際のサンプリング周波数は1000Hzとし、計測時間は載荷を含めて約20秒間とした。

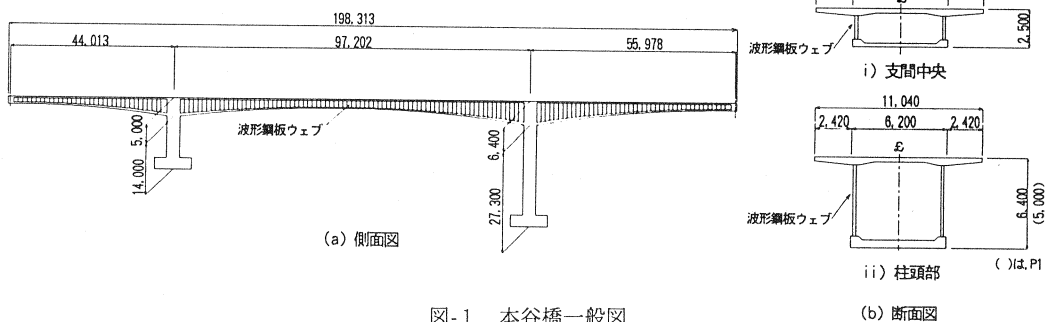


図-1 本谷橋一般図

3. 実験結果

3.1 応答加速度

図-2に、実験より得られた各計測箇所の応答加速度の1例を示す。図からわかるように、鉛直方向に衝撃荷重を加えたために、鉛直方向の応答加速度は最大 20~40gal の比較的大きな値を示しているのに対して、その他の橋軸および橋軸直角方向の応答加速度は数 gal 程度と非常に小さな値しか生じなかった。また、レベルで目測した鉛直たわみは最大で約5cmであった。

表-1 計測箇所

ch	計測方向	計測位置
1	鉛直	中央径間の支間中央、幅員中央
2	鉛直	中央径間の1/4支間位置、幅員中央
3	橋軸	P1橋脚上、幅員中央
4	橋軸	P2橋脚上、幅員中央
5	鉛直	中央径間の支間中央、幅員上流側
6	橋軸直角	P2橋脚上、幅員中央

3.2 卓越振動数

実験より得られた応答加速度を高速フーリエ変換することによって、本谷橋の卓越振動数を求めた。図-3に、高速フーリエ変換によって求められたフーリエスペクトル図を示す。実験からは、各実験ケースごとおよび各計測箇所ごとの応答加速度が計測され、それに対応してフーリエスペクトルが求められる。しかし、どのフーリエスペクトル図もほぼ同様なものが描けており、このようなことから今回の実験では本谷橋は安定した振動特性を示していたことがわかった。図-3はそれらのフーリエスペクトルの代表的なものであり、この図から判断した卓越振動数が本谷橋の卓越振動数であると考えたこととした。なお、図中に面内、面外と記したが、これらは計測方向から判断したものである。

3.3 減衰定数

本谷橋の減衰特性を検討するために、実験より得られた応答加速度から減衰定数を求めた。変位の時刻歴波形

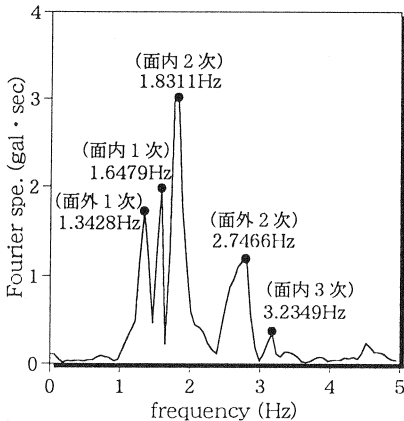


図-3 フーリエスペクトル図

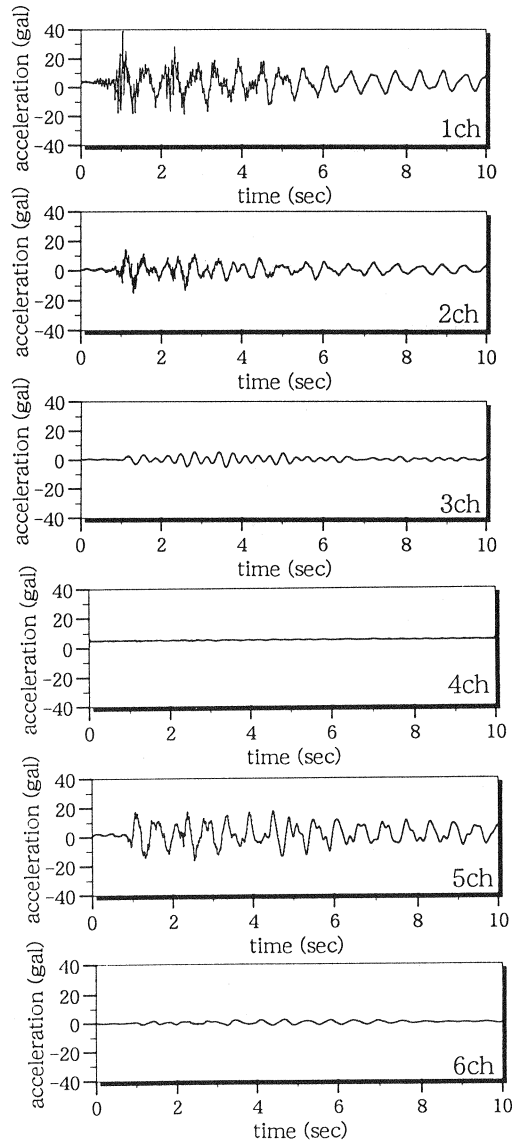


図-2 応答加速度波形

が得られている場合、その対象周波数の減衰定数はそのパワースペクトルから次式により求めることができる。

$$h = \frac{f_2 - f_1}{2f_n} \quad (1)$$

ここで、 f_n : パワースペクトルのピーク値を示す振動数、 f_1 、 f_2 : パワースペクトルのピーク値 f_n の 1/2 の値を示す振動数 ($f_1 < f_2$) である。本実験では変位ではなく加速度波形が得られたため、加速度波形のフーリエスペクトルを角周波数の 2 乗 ω^2 で除して変位のフーリエスペクトルを計算し、そこからパワースペクトルを求めることで減衰定数を計算した。その結果、各モード間に多少の差は見られたが、その値は 0.016~0.046 の範囲であり、平均すると 0.033 となった。道路橋示方書 V 耐震設計編によると、上部構造の等価減衰定数の参考値として、鋼構造で 0.02~0.03、コンクリート構造で 0.03~0.05 が与えられている。今回の実験より得られた平均的な減衰定数 0.033 は、鋼構造とコンクリート構造の中間的な値であると見なすことができ、本橋が鋼とコンクリートとの合成構造としての振動特性を示していたと考えることができると思われる。

4. 考察

4.1 固有値解析

実験結果が設計値通りであるのかを検討するために、本谷橋の固有値解析を行った。モデル化は集中質量系による 3 次元骨組み構造モデルで、地盤および支承はばねでモデル化した。なお、実験当日は舗装が施工前であったので、この重量は無視している。図-4 に解析に用いたモデル図を示す。

なお、固有値解析を行うに当たって、せん断変形の影響を検討する必要があった。一般に、コンクリート箱桁橋はせん断変形が小さく、それが振動特性に与える影響は小さいと考えられるため、解析においては主桁のせん断変形は生じないと仮定している。しかし、波形鋼板ウェブ橋はコンクリート箱桁橋に比べてせん断変形の影響が大きいとも考えられ、この影響を検討する必要があったわけである。そこで、実験より得られた固有値に合う主桁のせん断剛性を同定してみた。地盤ばね定数や鋼とコンクリート間のせん断抵抗に寄与する割合等をいろいろ変化させて計算した結果、本橋はコンクリート箱桁橋と同様にせん断変形は無視できることがわかった。表-2 に固有値解析結果を示す。表からわかるように、本実験において本谷橋はほぼ設計値通りの振動特性を有していたと言うことができる。

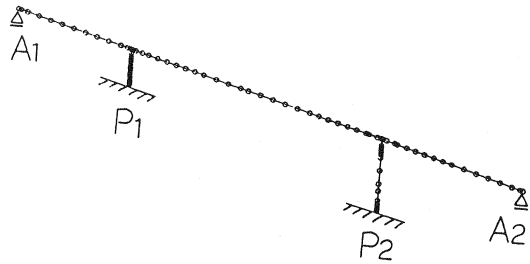


図-4 モデル図

表-2 固有値解析結果

	計算値 (Hz)	実験値 (Hz)
1次 (面外)	1.4217	1.3428
2次 (面内)	1.6189	1.6479
3次 (面内)	1.9058	1.8311
4次 (面外)	2.7762	2.7466
5次 (面内)	3.1515	3.2349

4.2 コンクリート箱桁橋との比較

今回の実験によって、ウェブに波形鋼板を用いた鋼とコンクリートとの合成構造の振動特性データを得ることができたが、これらが通常のコンクリート箱桁橋とどのような関係にあるのかをここでは検討する。比較対象としては、スパン・桁高などは本谷橋と等しく、ウェブをコンクリートに変更したのみのものである。つまり、本谷橋と異なる点は、ウェブをコンクリートに置き換えることによる断面剛性と躯体重量の変化のみである。表-3 にその変更点をまとめる。

表-4 に、コンクリート箱桁橋の固有値解析結果と、4.1 で求めた波形鋼板ウェブ橋の固有値解析結果との比較

結果を示す。これによると、全体的に波形鋼板ウェブ橋の方が大きい固有振動数を示している。つまり、コンクリート箱桁橋を波形鋼板ウェブ橋にすることで短周期化している。

これは、1自由度系の固有振動数が次式

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (2)$$

で表されることから説明できる。固有振動数は質量Mと剛性Kの関数であり、質量が軽くなるほど、または剛性が大きくなるほど振動数は大きくなる。コンクリート箱桁橋を波形鋼板ウェブ橋にすると主桁剛性と主桁自重が減少するが、主桁剛性よりも主桁自重の方が大幅に減少するため、結果的に振動数が大きくなっている。面外方向のモードである4、7次ではこれとは逆に波型鋼板ウェブ橋の振動数は小さくなっているが、これは主桁剛性の方が主桁自重よりも大幅に減少するためである。これを一般論として結論づけるまでには至らないが、本谷橋の場合では、構造形式を鋼とコンクリートとの合成構造とすることで、面内方向に関しては短周期化、面外方向に関しては長周期化すると考えられる。

5. まとめ

ウェブに波形鋼板を用いた鋼とコンクリートとの合成構造である本谷橋の振動特性を検討するため、ダンブルックによる振動載荷実験を行った。実験結果および種々の固有値解析結果から以下のことがわかった。

- 1) 計測された応答加速度を高速フーリエ変換することによって卓越振動数を求めた結果、固有値解析結果とほぼ等しい値が求められ、本谷橋がほぼ設計値通りの振動特性を示していたことがわかった。
- 2) 計測された応答加速度から減衰定数を求めると、平均的な値は0.033であった。この値は、鋼構造とコンクリート構造との中間的な値とも言え、このことから本橋が鋼とコンクリートとの合成構造としての振動特性を示していたと言える。
- 3) 実験より得られた卓越振動数は、せん断変形を考慮しない固有値解析結果との方がよく一致した。このことから、今回の実験ではせん断変形はそれほど生じていなかったと考えられる。
- 4) 波形鋼板ウェブ橋はコンクリート箱桁橋に比べて主桁自重および主桁剛性が小さくなるため、振動特性にも影響を及ぼすことがわかった。本谷橋の場合、波形鋼板ウェブ橋にしたことで、面内方向に関しては短周期化、面外方向に関しては長周期化する結果となった。

最後に、本実験に当たりご指導およびご検討いただいた「山岳部のコンクリート橋の新技術・新工法に関する検討委員会」の委員ならびに幹事の皆様に感謝の意を表します

表-3 波形鋼板ウェブ橋とコンクリート箱桁橋の違い

		波形鋼板ウェブ橋	コンクリート箱桁橋
主桁自重 (tf)		3276.9	4456.6
断面剛性	支間中央部	A (m ²)	7.143
		I _z (m ⁴)	6.206
		I _y (m ⁴)	60.275
		J (m ⁴)	12.509
	中間支点部 (P2)	A (m ²)	14.966
		I _z (m ⁴)	86.792
		I _y (m ⁴)	108.430
	J (m ⁴)	96.515	

表-4 計算値の比較

	固有振動数 (Hz)	
	波形鋼板ウェブ橋	コンクリート箱桁橋
1次 (面外)	1.4217	1.3762
2次 (面内)	1.6189	1.5214
3次 (面内)	1.9058	1.7970
4次 (面外)	2.7762	2.8461
5次 (面内)	3.1515	3.0325
6次 (面内)	4.2670	4.0528
7次 (面外)	4.6673	4.5726
8次 (面内)	4.8379	4.7374