

## (I-39) 動的外力を受けるプレートガーダーの局部変形挙動

山梨大学 正員 岡村 美好

山梨大学 正員 深澤 泰晴

1. はじめに 走行車両によって生じる橋梁の振動から放射される騒音としては低周波騒音が知られているが、プレートガーダー橋においてはウェブの面外振動によって高周波領域の騒音も放射される。このようなウェブの面外振動については、走行荷重による周期的な面内曲げ荷重によって引き起こされる係数励振振動が原因とされ、ウェブの動的安定問題に着目した解析が行われてきた。しかし、それらの多くはフランジを無視した長方形板の動的不安定性を検討したものであり、動的外力を受けるプレートガーダーの実際の局部変形挙動についてはほとんど明らかにされていない。本研究では、動的外力を受けるI形プレートガーダーの局部変形挙動について、有限帯板法を用いた解析により検討する。

2. 解析方法 有限帯板法を用いて、図-1に示すようにI形プレートガーダーをk個の帯板要素でモデル化し、部材軸方向にFourier級数、帯板要素の幅方向に多項式を仮定した変位関数を用いて各帯板要素に関する剛性マトリクス等を求める。これらのマトリクスに対して座標変換を行い全要素について重ね合わせると、次のような運動方程式が得られる。

$$[M]\{\ddot{d}\} + [C]\{\dot{d}\} + [K]\{d\} = \{F\} \quad (1)$$

ここに、 $\{d\}$ 、 $\{F\}$ は節線変位ベクトルおよび節線外力ベクトル、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ はそれぞれ質量マトリクス、減衰マトリクス、剛性マトリクスを表す。なお、境界条件は全帯板要素について両端単純支持とする。また、応答計算はモード解析法を適用し、Fourier級数の採用項数をr項としたときの固有振動数の小さいものから第m次モードまでのすべての固有モードを用いて行う。

3. 解析モデル 図-2に解析断面を示す。フランジおよびウェブの板厚はそれぞれ1.5cm、1.0cmであり、スパンは4mとした。材料定数は弾性定数206GPa、ポアソン比0.3、単位質量 $0.785 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ 、減衰定数はすべてのモードについて0.02とした。

帯板要素への要素分割はフランジ6要素、ウェブ20要素、合計32要素とし、モード解析においてはFourier級数の項数30、300次までのモード次数を採用した。

4. 解析結果および考察 桁高に対する波長の比が2.0のときの腹の位置の断面における固有モード(Y-Z断面)と固有振動数を図-3に示す。いずれのモードにおいてもウェブの面外曲げ変形が顕著であり、次数が高くなるのにもなって桁高方向の波数が多くなっている。また、フランジはウェブとの接合辺を中心とした回転を示しているが断面変形はほとんど生じていない。なお、図中には示されていないが、第7次以上の固有モードにはフランジの曲げ変形が顕著なモードも現れてくる。

スパン中央断面に周期的な鉛直荷重が作用する場合について応答解析を行い、載荷断面における各位置の変位応答、速度応答、および局部変形モードについて検討を行った。載荷外力は、偏心載荷として上フランジの片側自由縁に載荷した場合とねじり載荷として上フランジの両自由縁に逆向きの荷重を載荷した場合(図-4)の2ケースとし、加振力 $P=1\text{ N}$ 、加振周波数を250、500、750Hzとした。

図-5は、加振周波数750Hzで偏心載荷をしたときのウェブにおける水平方向の変位応答を示す。縦軸は変位、横軸は加振周期 $t_0$ に対する時間 $t$ の比であり、桁高を $h$ としたときの載荷断面におけるウェブについて上から $h/4$ 、 $h/2$ 、 $3h/4$ の位置の応答をそれぞれ点線、鎖線、実線で表している。下方に行くにし

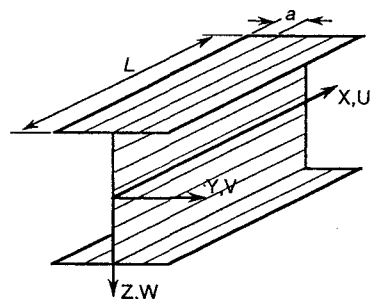


図-1 有限帯板モデル

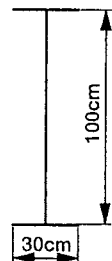


図-2 解析断面

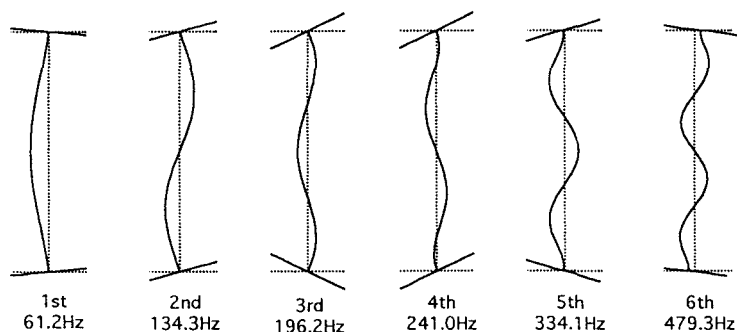


図-3 固有振動モード

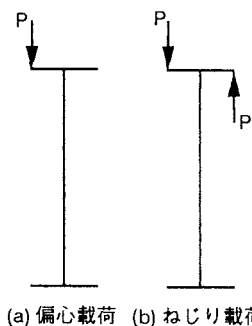


図-4 载荷外力

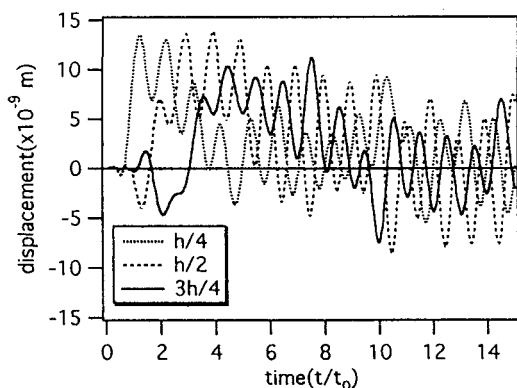


図-5 ウェブプレートの変位応答  
(750Hz, 偏心载荷)

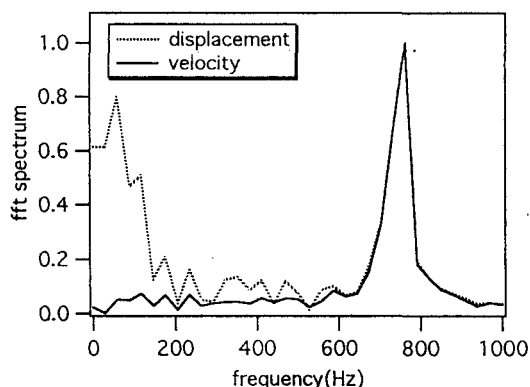


図-6 フーリエスペクトルの比較  
(750Hz, 偏心载荷)

たがって波形の立ち上がりに遅れが認められる。

図-6は、同様の荷重条件のときの载荷断面の $2/h$ の位置における水平方向の変位応答と速度応答のフーリエスペクトルの比較である。縦軸はそれぞれの最大スペクトル振幅で無次元化したスペクトル振幅、横軸は周波数であり、実線が速度応答、点線が変位応答のスペクトルを表す。変位応答においては加振周波数の約750Hzと約60Hzの2箇所に卓越周波数を生じているが、速度応答では加振周波数のみが卓越している。なお、他の载荷状態においても速度応答では加振周波数のみが卓越する結果が得られた。

図-7に载荷条件による断面変形モードの違いを示す。図-7(a)は加振周波数250Hzの偏心载荷、図-7(b)は加振周波数500Hzの偏心载荷、図-7(c)は加振周波数500Hzのねじり载荷であり、いずれも時刻 $t = 20t_0$ における载荷断面の変形モードを示している。加振周波数が大きくなるとウェブプレートの桁高方向の波形の次数が増えている。また、下フランジおよびウェブの変形モードには偏心载荷とねじり载荷の違いはあまり現れていないが、上フランジには偏心载荷のときに曲げ変形が生じ、加振周波数500Hzにおいて顕著な変形を示している。

**4. まとめ** 動的荷重を受けるI形プレートガーダーについて、有限帯板法とモード解析法を併用した応答計算を行うことにより、局部変形挙動を把握することができた。また、ウェブプレートの面外方向への速度応答スペクトルは加振周波数とはほぼ一致した周波数のみが卓越することが明らかになった。

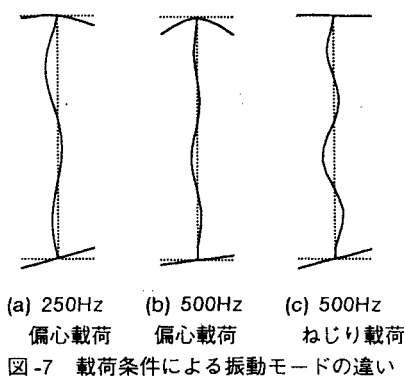


図-7 载荷条件による振動モードの違い