

I-665

鋼桁に発生する高次振動の境界要素法解析

神戸大学工学部 正○北村泰寿 J R西日本 正 藤原申次

1. まえがき

高架道路交通によって発生する騒音として、自動車騒音、低周波騒音とともに鋼桁構造においては、高架構造物音と呼ばれる500～1 kHz程度の騒音が問題になる。この音の発生原因は高架橋鋼桁のウェブの高次振動であると考えられている。本研究は、周波数領域型境界要素法を用いて、鋼桁ウェブに発生する高次振動を調べたものである。

2. 解析手法の概要

図-1に示すI形断面の鋼桁を考える。5枚の平板を組み合わせた組立板としてモデル化し、各平板の面外および面内振動に周波数領域型境界要素法を適用する。いま、物体力を無視した面外振動の支配微分方程式にグリーンの定理を用いれば、次式の境界積分方程式を得る¹⁾。

$$\frac{1}{2}w = - \int_{\Gamma} [V_n^* w - M_n^* T_n + T_n^* M_n - w^* V_n] d\Gamma + \sum_{i=1}^K ([M_{ni}] w^* - [M_{ni}^*] w) \quad (1)$$

ここに、 w, T_n, M_n, V_n は境界のたわみ、たわみ勾配、曲げモーメント、相当せん断力、 $[M_{ni}]$ は境界隅角点におけるねじりモーメントの不連続性を考慮した項である。図-1 I形鋼桁上付き*は基本解を表しており、無限平板の動的基本解を用いる。

面外振動問題では、式(1)とは別の独立な境界積分方程式が必要となる。任意の直角座標系 $\xi-\eta$ を導入し、 ξ 方向に微分して得られるたわみ勾配に関する境界積分方程式を導入する¹⁾。

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial \xi} = - \int_{\Gamma} [\widetilde{V}_n^* w - \widetilde{M}_n^* T_n + \widetilde{T}_n^* M_n - \widetilde{w}^* V_n] d\Gamma + \sum_{i=1}^K ([M_{ni}] \widetilde{w}^* - [\widetilde{M}_{ni}^*] w) \quad (2)$$

ここに、上付き～は式(1)に現れる基本解の勾配に関する諸量である。

面内振動問題については、平面応力状態を考える。物体力を無視した面内振動の支配方程式に重み付き残差法を用いれば、次式の境界積分方程式を得る。

$$\frac{1}{2} U_k + \int_{\Gamma} P_k^* U_l d\Gamma - \int_{\Gamma} U_k^* P_l d\Gamma = 0 \quad (k=1,2, l=1,2) \quad (3)$$

ここに、 U_k, P_k は k 方向の変位、表面力ベクトルである。上付き*は全無限基本解である。

複数の平板の接合部において、適合条件および平衡条件を用いて図-1の組立板の振動を解析する²⁾。その際、接合線上で平板は剛結と仮定する。また、境界積分方程式の離散化には一定要素を用いる。これによって、各平板に対して成り立つ式(1)～(3)を組立板全体の代数方程式系にまとめることができる。

3. 計算結果

解析モデルを図-2に示す。鋼桁の諸元として、弾性係数を 2.1×10^6 kgf/cm²、単位体積重量を7.85 tf/m³、ポアソン比を0.3、板厚を1cmとする。また、下フランジの両端の短辺部分を固定支持とする。加振問題は、図-3、4の2つのケースを解析する。

固有振動数515Hzにおける振動モードを図-5に示す。図a)はウェブの部分を取り出したモード図で、図b)は桁の変形状態を分かり易くするため図示したものである。桁全体のねじりモードとともに、ウェブには面外振動モードが生じていることが認められる。図示していないが、固有振動数547Hzにはフランジの変形が大きくなる振動モードが現れているが、

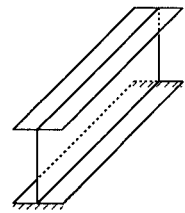


図-1 I形鋼桁

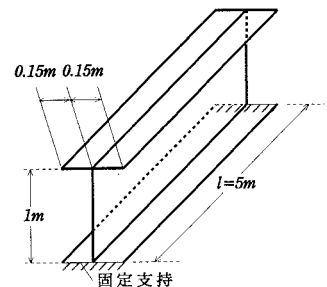


図-2 解析モデル

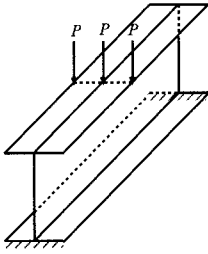


図-3 鉛直加振問題

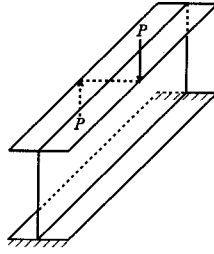
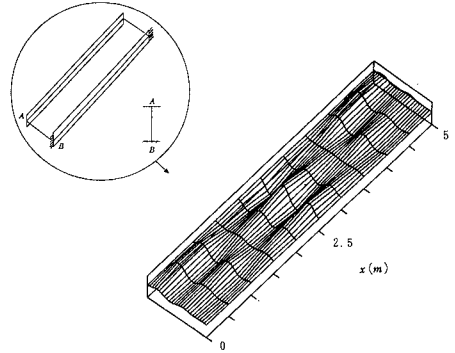


図-4 回転加振問題



a) ウエブの振動モード

ウェブの面外振動モードも生じている。

同じモデルを用いて加振問題を解析する。鉛直加振力に対する結果を図-6に示す。加振周波数は500Hzとし、加振力は $P=1\text{tf}$ とした。この場合、面外方向には対称加振となっているため、フランジの変形は小さく、ウェブには面外振動が卓越している。また、ウェブの面外振動は上下フランジとの接合線を固定とした単一板の面外固有振動モード(536Hz)とよく似ている。

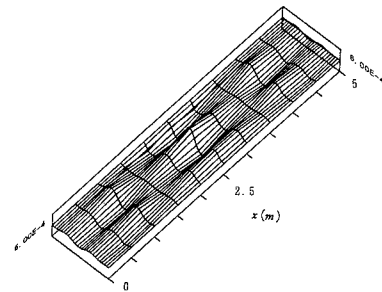
図-7は回転加振力に対する結果である。面外方向に逆対称加振のため、桁のねじり振動が発生するとともに、桁中央部ではウェブの面外振動も卓越している。全体的な振動は図-5の固有振動モードと類似している。

4. あとがき

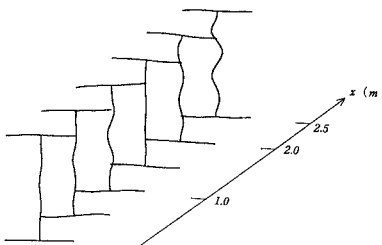
今回調べた500Hz付近の周波数では、桁のねじり振動あるいはフランジの振動モードが現れる場合でも、ウェブに卓越した面外振動が発生している。音響放射面積の大きいウェブの面外振動は、高架構造物音に大きな関わりを持つため、今後は鋼桁上を走行する自動車によって、なぜ高い周波数の加振力が発生するのか究明する必要がある。

[文献]

- 1) Stern, M. : J. Solids & Structures, Vol.15, pp.769~782, 1979.
- 2) 田中・宮崎：日本機械学会論文集，53巻，485号，pp.70~76，1987.

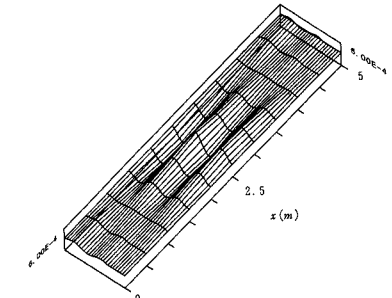


a) ウエブの振動モード

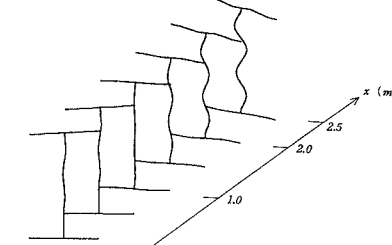


b) 桁の変形状態

図-6 鉛直加振問題



a) ウエブの振動モード



b) 桁の変形状態

図-7 回転加振問題