

I-474 衝撃力を受けるプレートガーダーの動的挙動の解析

山梨大学工学部 正会員 岡村 美好
 山梨大学工学部 正会員 深沢 泰晴

1. はじめに プレートガーダーに列車荷重のような動的荷重が作用すると、ウェブプレートの面外振動を要因とする騒音の放射やフランジとウェブプレートとの溶接部に疲労亀裂が生じたりすることが知られている。このようなプレートガーダーの動的挙動の解析はウェブプレートのみを対象としたものが多く、フランジの挙動も考慮した動的挙動はほとんど明らかにされていない。そこで、本報告では、単純支持された薄肉I形断面部材に衝撃力が作用する場合について、有限帯板法¹⁾を用いて断面変形を考慮した応答解析を行い、フランジとウェブプレートが相互に連成したプレートガーダーとしての動的挙動を明らかにする。

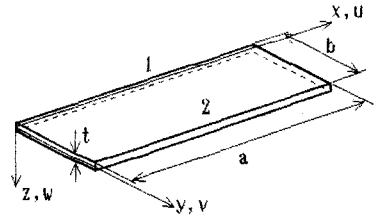


図-1 帯板要素と局所座標系

2. 解析方法^{1), 2)} 図-1に示す節線1, 2より成る帯板要素について、両端単純支持を仮定し、x, y, z軸方向の変位成分u, v, wとして次式を用いる。

$$u = \sum_{n=1}^r (1 - \eta \eta) \begin{Bmatrix} u_{1, n}(t) \\ u_{2, n}(t) \end{Bmatrix} \cos k_n x, \quad v = \sum_{n=1}^r (1 - \eta \eta) \begin{Bmatrix} v_{1, n}(t) \\ v_{2, n}(t) \end{Bmatrix} \sin k_n x, \quad (1)a, b$$

$$w = \sum_{n=1}^r \left\langle (1 - 3\eta^2 + 2\eta^3) \quad y(1 - 2\eta + 2\eta^2) \quad (3\eta^2 - 2\eta^3) \quad y(\eta^2 - \eta) \right\rangle \begin{Bmatrix} w_{1, n}(t) \\ \theta_{1, n}(t) \\ w_{2, n}(t) \\ \theta_{2, n}(t) \end{Bmatrix} \sin k_n x \quad (1)c$$

ただし、 $k_n = n\pi/a$, $\eta = y/b$

ここに、 $(\)_{i, n}(t)$ は時刻tにおける節線1の第n項に対する各変位成分の振幅を表す。

帯板要素は等方弾性体で、面外変形と面内変形は連成しないものとして、式(1)を慣性力を考慮した仮想仕事式に適用すれば、つぎのような運動方程式が得られる。

$$[M]\{\ddot{U}(t)\} + [K]\{U(t)\} = \{P(t)\} \quad (2)$$

ここに、 $[M]$, $[K]$, $\{U(t)\}$, $\{P(t)\}$ は質量マトリクス、剛性マトリクス、節線変位ベクトルおよび節線外力ベクトルである。式(2)より固有値および固有モードを求め、固有モードの直交性を考慮すれば、式(2)は各モードごとに分離されたつぎのようなn個の運動方程式に書き換えることができる。

$$\ddot{z}_i(t) + \omega_i^2 z_i(t) = Q_i(t) \quad (3)$$

ここで、i次モードに対する減衰定数を ζ_i として、式(4)に以下のような減衰項を加える。

$$\ddot{z}_i(t) + 2\omega_i \zeta_i \dot{z}_i(t) + \omega_i^2 z_i(t) = Q_i(t) \quad (4)$$

応答計算は、時間刻み Δt の間に外力が直線変化するとして式(4)のラプラス変換を行って時刻tと時刻(t + Δt)の関係を求めて、逐次行う。

3. 数値解析結果 解析モデルを図-2, 3に示す。支持条件は両端単純支持とし、衝撃力は継続時間0.1msの半波の正弦波をスパン中央の上フランジ中央に作用させた。計算に用いた材料定数は、単位体積質量 $\rho = 8.02 \times 10^{-6} \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}^4$, ヤング率 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$, ポアソン比 $\nu = 0.3$ とし、式(4)の減衰定数 ζ_i はすべてのモードに対して0.02とした。また、要素分割は、ウェブの要素数20, フランジの要素数10, 計40要素, 41節線とし、応答計算においては式(1)のrを30としてモード次数は300までを考慮した。

図-4に着目点1, 2における鉛直変位応答を示す。太い実線が着目点1の応答, 細い実線が着目点2の応答を表す。着目点1の最大振幅は着目点2の最大振幅の約2倍であり, 着目点1のほうが短い周期の振動を示す。これより, ウェブとフランジの接合辺とフランジ自由縁では異なった挙動を示し, 断面変形を生じていることがわかる。このときのモードシミュレーションを図-5に示す。0.05msで荷点付近のウェブおよびフランジのみに局所的な変形が見られ, 0.10msで下フランジにも変形が生じる。0.15ms以降には, 上フランジでは局所的な変形が2つに分かれて両端の支持端に伝播する様子が現れ, 下フランジではスパンを1/2波長とする曲げ振動が見られる。また, ウェブには部材軸方向の変形も生じていることがわかる。

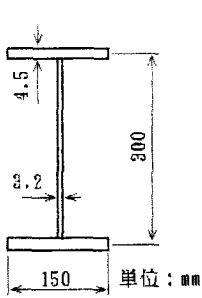


図-2 解析モデル

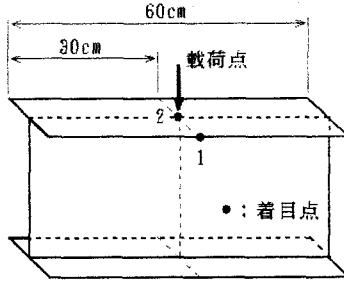


図-3 荷点および着目点

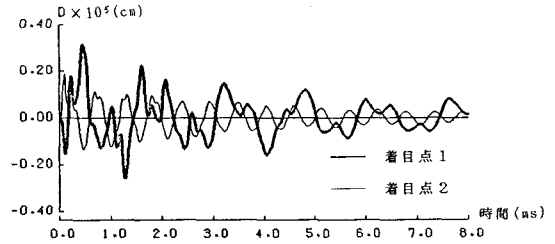


図-4 着目点1, 2の鉛直変位応答

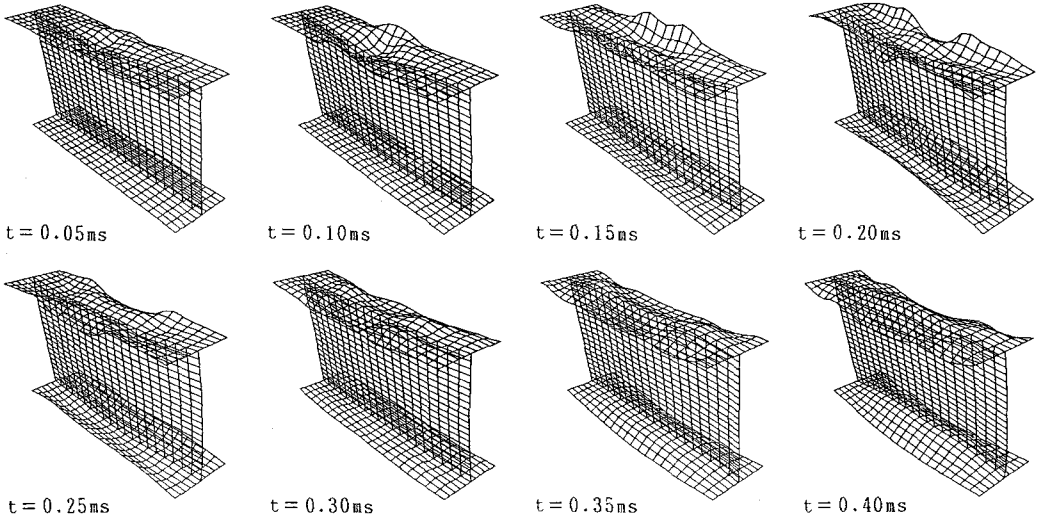


図-5 モードシミュレーション

4. まとめ 単純支持された薄肉I形断面部材に曲げ衝撃力が作用する場合について, 有限帯板法を用いて断面変形を考慮した応答解析を行い, プレートガーダーの動的挙動を明らかにすることを試みた。また, モードシミュレーションを行い, 変形が伝播していく様子を視覚的に捉えることができた。なお, 断面寸法の違いによる影響, 衝撃力の作用時間の違いによる影響等についての報告は講演時に譲る。

<参考文献> 1)Chuang, Y. K. : Finite Strip Method in Structural Analysis, PERGAMON PRESS 2)中村: 断面変形を考慮した薄肉はりの振動解析, 土木学会論文報告集, 第223号, pp.11~22, (1974) 3)岡村, 深沢: 鋼薄肉断面はりの固有振動モード解析, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要集, I-480, (1991)